



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEOTECHNIKY

INSTITUTE OF GEOTECHNICS

**ZAJISTĚNÍ STAVEBNÍ JÁMY NA UL.
PROVAZNÍKOVA**

DESIGN OF DEEP EXCAVATION ON THE STREET PROVAZNIKOVA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Mgr. Ivana Koudelková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. LUMÍR MIČA, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav geotechniky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Mgr. Ivana Koudelková
Název	Zajistění stavební jámy na ul. Provazníková
Vedoucí práce	doc. Ing. Lumír Miča, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2016
Datum odevzdání	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016

doc. Ing. Lumír Miča, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- Výkresová dokumentace (půdorys a řez horní konstrukce)
- Inženýrsko-geologický průzkum,
- Manuál program GEO5 a Plaxis
- Odborná literatura a informace z internetu k řešenému tématu

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Předmětem diplomové práce je navrhnout zajištění stavební jámy - typ pažící konstrukce a dimenze nosných, stabilizačních prvků. Součástí bude i výkresová dokumentace (příčný řez a půdorys).

V práci musí být obsaženy tyto náležitosti:

- geotechnické poměry na lokalitě (IG profily, parametry zemin použité pro výpočet)
- statický výpočet zajištění stavební jámy včetně posouzení celkové stability území)
- technologický postup výstavby
- výkresová dokumentace (půdorys a řez pažící konstrukce)

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Lumír Miča, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem a statickým posouzením pažení stavební jámy realizované za účelem výstavby polyfunkčního domu v Brně Husovicích. Úvodní část práce shrnuje základní vstupní informace o zájmové lokalitě včetně výstupů inženýrsko-geologického průzkumu a podává přehled o možnostech zajištění stavebních jam. Stěžejní část práce popisuje navržení a posouzení vybrané varianty pažení, následné zhodnocení výsledků a technologický postup výstavby. Navržená konstrukce je doplněna o statické výpočty a výkresovou dokumentaci, které jsou součástí přílohy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Pažící konstrukce, pilotová stěna, horninová kotva, vrtané piloty, stavební jáma, statický výpočet, návrh, posouzení.

ABSTRACT

This diploma thesis describes the design and static assessment carried shoring excavation pit for the construction of a multifunctional building in Brno Husovice. Introductory part summarizes the basic input information on the area of interest, including outputs of engineering-geological survey and gives an overview of the options pits. The main part describes the design and assessment of selected variant of shoring, the subsequent evaluation of the results and the technological progress of construction. The proposed design is complemented by structural calculations and construction plans.

KEY WORDS

Shoring wall, pile wall, ground anchor, bored piles, foundation pit, static calculation, design, assessment

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Mgr. Ivana Koudelková *Zajistění stavební jámy na ul. Provazníková*. Brno, 2017. 58 s., 146 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky. Vedoucí práce doc. Ing. Lumír Miča, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9. 1. 2017

Mgr. Ivana Koudelková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji doc. Ing. Lumírovi Mičovi, Ph.D. za poskytnutí cenných informací, potřebných podkladů a rad při vypracovávání této diplomové práce a za čas věnovaný konzultacím

Obsah

1. Úvod	10
2. Geotechnické poměry	11
2.1 Přehled geologických a hydrogeologických poměrů	11
2.1.1 Poloha a popis objektu	11
2.1.2 Geologické poměry	12
2.1.3 Geomorfologické a hydrogeologické začlenění	14
2.1.4 Prozkoumanost zájmového území	14
2.1.5 Inženýrsko-geologické poměry zájmového území	15
2.1.6 Hydrogeologické poměry	16
2.1.7 Geotechnické vlastnosti zemin	17
2.1.8 Svahové nestability	18
2.1.9 Zhodnocení IG průzkumu a geotechnických poměrů na lokalitě	19
3. Zajištění stavební jámy	20
3.1 Záporové pažení	20
3.2 Pilotové stěny	21
3.3 Podzemní stěny (Milánské stěny)	22
3.4 Výběr typu pažící konstrukce pro jámu Provazníková	23
4. Statický výpočet	24
4.1 Geo 5 – metoda výpočtu	24
4.2 Kotvená pilotová stěna	25
4.2.1 Nastavení výpočtu	26
4.2.2 Geotechnický model	27
4.2.3 Geometrie	28
4.2.4 Materiál	29
4.2.5 Hladina podzemní vody	29
4.2.6 Přetížení	29

4.2.7	Kotvy.....	30
4.2.8	Fáze výstavby stavební jámy	31
4.3	Výsledky.....	35
4.3.1	Mezní stav únosnosti	35
4.3.2	Mezní stav použitelnosti.....	40
4.3.3	Posouzení celkové stability svahu	42
4.3.4	Posouzení ŽB pilot.....	46
4.3.5	Posouzení převázky.....	47
4.3.6	Smykové kotvy.....	48
5.	Technologický postup výstavby.....	50
6.	Závěr.....	53
	Bibliografie	54
	Použité zkratky a symboly	57
	Seznam příloh	58

1. Úvod

Předmětem diplomové práce je návržení a posouzení pažení stavební jámy v Brně Husovicích, která bude sloužit jako prostor pro výstavbu sedmipodlažního polyfunkčního domu. Zájmová lokalita se nachází ve svažitém terénu charakterizovaném přítomností jílovitých zemin, typických pro celou oblast Brna. Pro realizaci stavby je v tomto terénu nutné vytvořit poměrně hluboký zářez, který vyžaduje spolehlivé statické zajištění. Zájmové území se navíc nachází v sesuvné oblasti, a proto je nutné dbát této skutečnosti a navrhnout konstrukci, která bude vyhovující také z hlediska zachování celkové stability území.

Z důvodu svažitosti terénu bude statický výpočet pažící konstrukce rozčleněn na několik částí, zohledňujících potřebnou výšku zapažení i rozdílné hodnoty přetížení terénu na rubové straně konstrukce. Samotný typ pažící konstrukce bude pak volen s ohledem na rozměry výkopu i skutečnost, že se pohybujeme v sesuvné oblasti, což vyžaduje přiměřenou tuhost konstrukce. Navržený pažící systém bude posouzen v programu Geo5 a toto posouzení bude doplněné o ruční posudky únosnosti kotev a převázek. S využitím softwaru Fischer compufix budou dále navrženy a posouzeny smykové kotvy v místě kontaktu pilot a převázky. K posouzení výztuže pilot pak bude využit program Idea Statica. Všechny navržené konstrukční části budou doplněny o výkresovou dokumentaci, která bude součástí příloh.

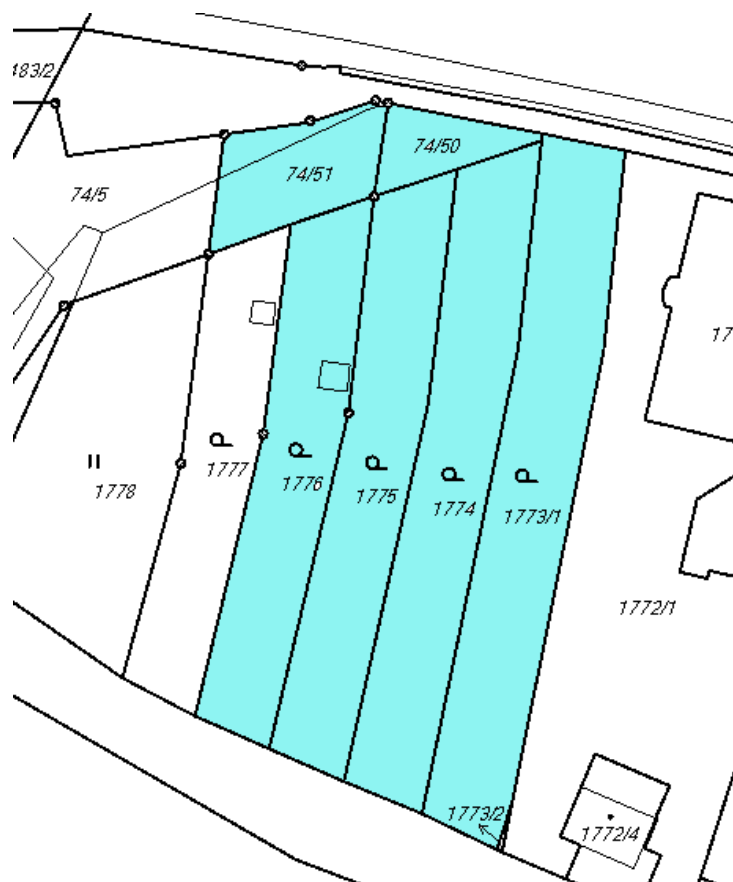
2. Geotechnické poměry

Znalost inženýrsko-geologických poměrů je základním předpokladem pro nejvhodnější návrh pažicích i základových konstrukcí jak z hlediska funkčního, tak ekonomického. Podrobná znalost fyzikálně indexových i mechanických vlastností zeminy, stejně tak jako informace o přítomnosti podzemní vody, rozhodují o přiměřenosti návrhu a tím o kvalitě a době bezpečného fungování konstrukcí, tzn. o jejich životnosti. V praxi se často průzkumu nevěnuje potřebná pozornost a v rámci finančních úspor se mnohdy průzkum neprovádí v dostatečném rozsahu, což může vést k nevhodnému návrhu a způsobit následné problémy ve formě narušení statiky celé stavební konstrukce vlivem sedání, degradace konstrukčních částí vlivem chemické agresivity podzemní vody atd. Napravování takovýchto situací je pak zpravidla technologicky i finančně mnohem náročnější, nežli důkladný počáteční průzkum.

2.1 Přehled geologických a hydrogeologických poměrů

2.1.1 Poloha a popis objektu

Zájmové území projektovaného objektu se nachází v severní části města Brna, v městské části Husovice, ulice Provazníková, p.č. 1773/1, 1774, 1775, 1776, 74/50, 74/51, k.ú. Husovice. [1] Objektem, který bude realizován v navrhované stavební jámě, je sedmipodlažní polyfunkční dům. V severní části pozemku na hranici s ulicí Provazníková se nachází tížná zeď. Východní část je tvořena zástavbou. Z jižní a západní strany je parcela ohraničená parkem Marie Restituty. Lokalita je charakterizována svažitým terénem.



Obrázek 1: Zaznačení zájmových parcel v katastrální mapě [1]

2.1.2 Geologické poměry

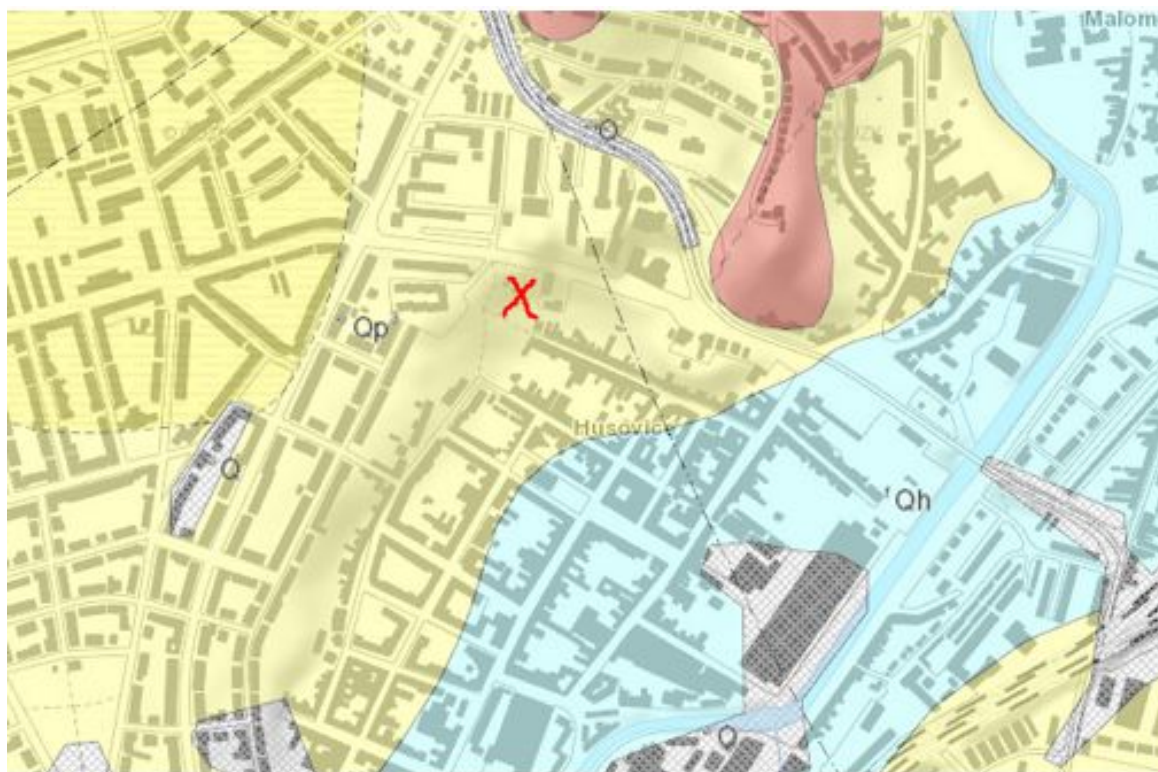
Geologické podloží zájmové oblasti je tvořeno výhradně neogenními sedimenty, typickými pro celou oblast Brna. Převážně se jedná o vápnité jíly, jež mohou obsahovat polohy písků. Také se zde nachází polohy zpevněných jílovců a pískovců, méně často slepenců. [2]


Základem zatřídění hornin je mezinárodní klasifikace USCS, z níž vychází klasifikace odpovídající donedávna platné normě ČSN 73 1001 (platná do 1.4.2010) i klasifikace uvedená v Evropské normě ČSN EN 14 688, která platí v současnosti [3; 4].


Podle ČSN EN ISO 14688-2 spadají zeminy v zájmové lokalitě do tříd siCl až Cl (dle dříve platné ČSN 73 1001 jde o skupiny F8-CH). Jedná se o sedimenty, jejichž konzistence je převážně pevná, v některých místech až tvrdá. Téměř ve všech sondách, které byly provedeny v rámci IG průzkumu (viz další text), byla potvrzena kvartérní pokryvná vrstva tvořená zeminami tříd siCl a sasiCl (resp. F6-Cl a F4-CS) s konzistencí


tuhou až pevnou. Svrchní vrstva zkoumané lokality je tvořena převážně humusovou hlinou, předpokládá se zde ale i výskyt navážek. [2]


Vyznačení zájmové lokality v geologické mapě oblasti z databáze České geologické služby ukazuje obrázek 1, kde je křížkem označena zájmová lokalita.




 p^sQ svahové písčitohlinité až hlinitopísčité sedimenty

 j Nb¹ šedé vápnité jíly

 Qh splachové písčitohlinité sedimenty

 gd b_{ov} středně až hrubě zrnitý biotitický granodiorit

 a³Q antropogenní uložení nerozlišené

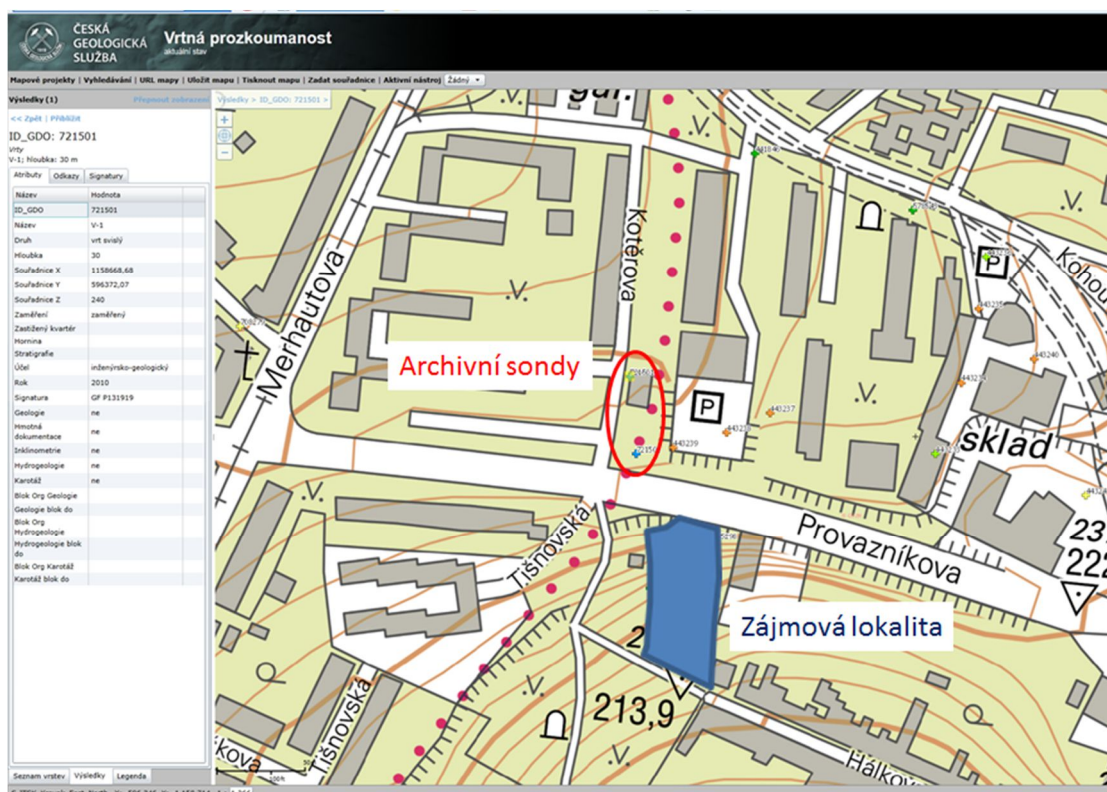
Obrázek 2: Geologická mapa zájmové oblasti [5]

2.1.3 Geomorfologické a hydrogeologické začlenění

Z hlediska geomorfologického členění ČR spadá daná oblast do okrsku Řečkovický prolom, podcelku Řečkovicko-kuřimský prolom, které jsou součástí celku Bobravská vrchovina a oblasti Brněnská vrchovina. [2] Co se týká hydrogeologického začlenění, hovoříme zde ve svrchní vrstvě o rajonu 1643, Kvartér Svratky, hlavním povodím je řeka Dyje. V základní vrstvě se jedná o rajon 2241, Dyjsko-svratecký úval v terciálních a křídových pánevních sedimentech, jehož hlavním povodím je řeka Dunaj. [5]

2.1.4 Prozkoumanost zájmového území

V počáteční fázi IG průzkumu se vždy prověřuje, zda nebyly v zájmovém území a jeho blízkém okolí prováděny již v minulosti průzkumné práce. V této souvislosti byly jako zájmové lokality nejbližší zjištěny dvě archivní sondy z roku 2010 provedené firmou Topgeo. Údaje o těchto vrtech jsou získané z archivu Státní geologické služby Geofond v Praze a uvádí je tabulky 1 a 2. [2; 6] Sondy jsou vyznačeny na obrázku 3.



Obrázek 3: Mapa zájmové oblasti s vyznačením archivních sond a parcely [7]

Tabulka 1: Archivní sonda 1 [2]

V1 kóta: 232 m n.m.		Třída ČSN 736133
metráž (od - do):	Geologický popis	
0 0,8	navážka	Y
0,8 3,7	sprašová hlína, pevná, žilky CaCO ₃ , eolická	F6
3,7 5	písek zajiňovaný, jemnozrnný, středně uhlý, suchý, opracované valouny pískovce do 4 cm, úlomky skalní horniny	S3
5 25,4	jíl pevný	F8
25,4 30	jíl pevný neogenní	F8

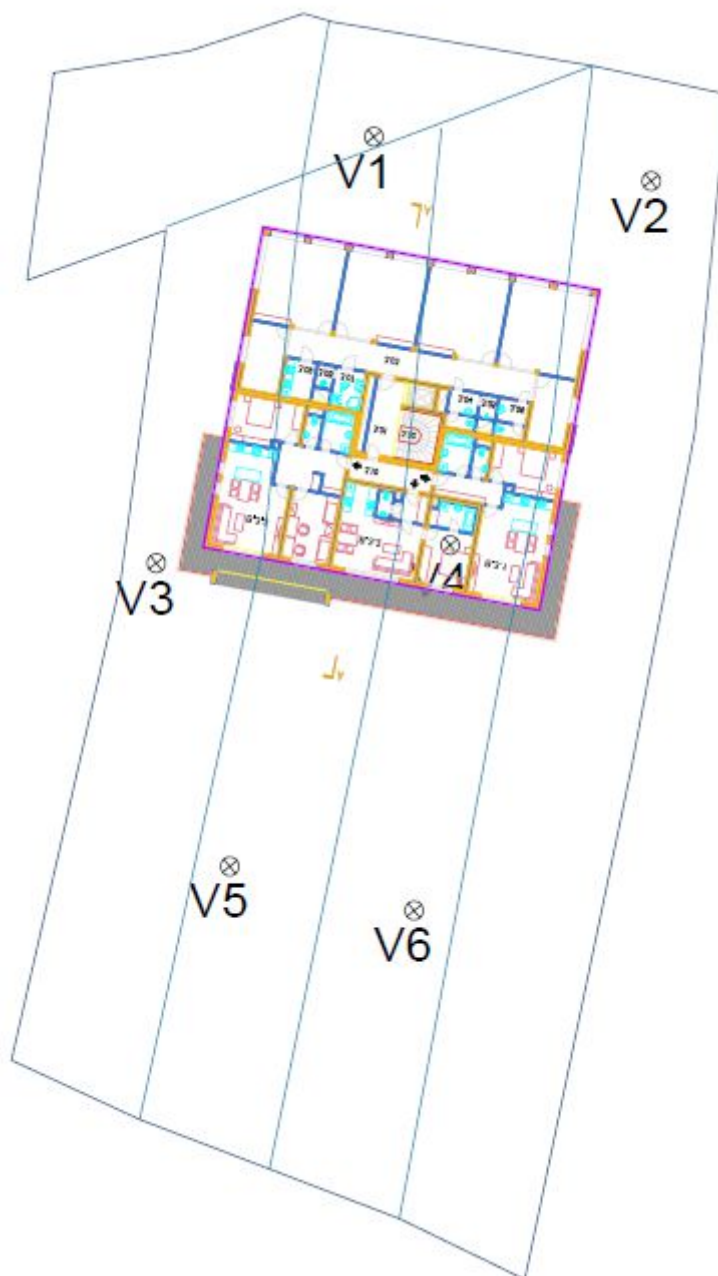
Tabulka 2: Archivní sonda 2 [2]

V2 kóta: 230 m n.m.		Třída ČSN 736133
metráž (od - do):	Geologický popis	
0 1,1	navážka	Y
1,1 6	sprašová hlína, pevná, žilky CaCO ₃ , eolická	F6
6 7,8	písek zajiňovaný, jemnozrnný, středně uhlý, suchý, opracované valouny pískovce do 4 cm, úlomky skalní horniny	S3
7,8 22,7	jíl pevný	F8
22,7 30	jíl pevný neogenní	F8

Výskyt podzemní vody nebyl ve vrtech zaznamenán.

2.1.5 Inženýrsko-geologické poměry zájmového území

V zájmovém území bylo navrženo 6 průzkumných vrtaných sond. Jejich umístění určil statik a je patrné z obrázku 4. Tyto sondy byly vrtány jádrovým způsobem nářadím o profilu 137 mm a spirálovým vrtným nástrojem profilu 150 mm. Hloubky sond byly proměnné v závislosti na svažitosti terénu. Na základě údajů z jednotlivých sond byly sestaveny IG profily, které jsou součástí přílohy A.



Obrázek 4: Situace objektu a průzkumných sond [1] [2]

2.1.6 Hydrogeologické poměry

Podzemní voda byla při vrtných pracích potvrzena pouze v jednom vrtu, nicméně dodatečně došlo k jejímu nastoupání ve všech sondách s výjimkou V1, viz tabulka 3. (Absence podzemní vody ve vrtu V1 je dle IG průzkumu ale přisuzována skutečnosti, že vrt byl v hloubce cca 3 m ucpaný.) Je tedy nutné uvažovat s možností, že hladina

podzemní vody bude mít vliv na základové konstrukce projektovaného objektu. Z hlediska chemického působení vykazuje podzemní voda středně agresivní chemické prostředí stupně XA2 z důvodu obsahu síranů. Toto prostředí vykazuje nepříznivé působení na kovové i betonové konstrukce (např. krystalizační tlaky v pórech betonu) a proto je nutné tyto konstrukce v případě jejich možného kontaktu s podzemní vodou chránit primární i sekundární ochranou. [2]

Tabulka 3: Úroveň hladiny podzemní vody

sonda	hloubka HPV dle data (m)				
	29.1.	30.1.	4.2.	5.2.	12.2.
V1	-	-	-	x	-
V2	-	-	x	x	18,7
V3	-	-	x	x	13,0
V4	-	-	x	x	10,8
V5	x	13,2	-	-	8,1
V6	12,8	8,0	-	-	6,0

2.1.7 Geotechnické vlastnosti zemin

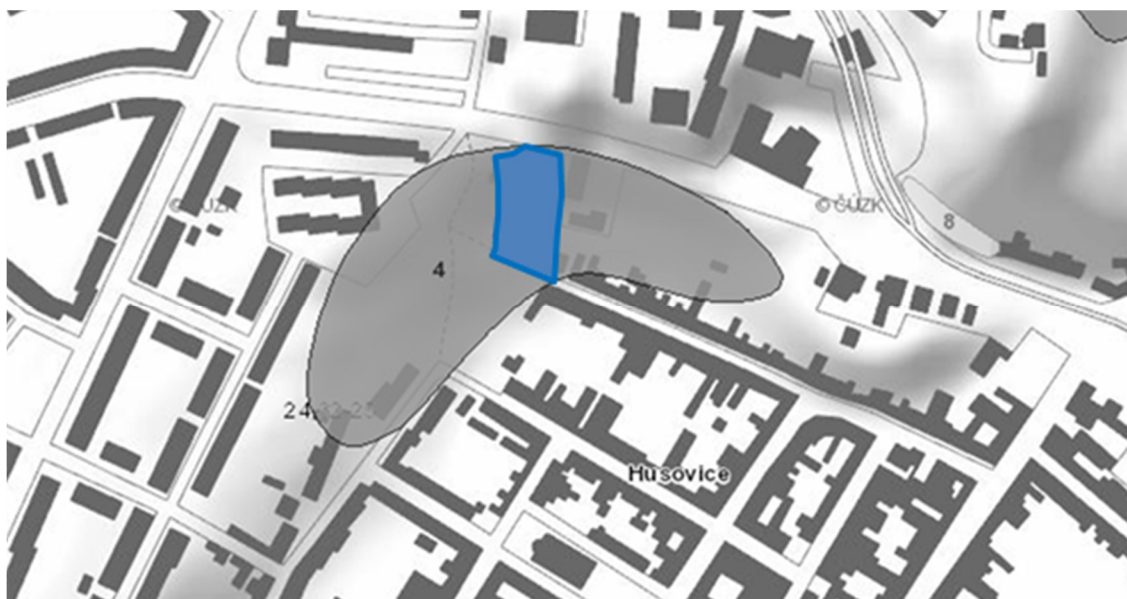
V průběhu průzkumných prací byly provádějí firmou Balun – geologické práce odebírány vzorky zemin, které byly podrobeny zkouškám v laboratoři mechaniky zemin pro potřeby zatřídění a určení geotechnických vlastností zemin. U každého vzorku bylo touto firmou provedeno také stanovení fyzikálně-indexových vlastností (granulometrický rozbor kombinací síťovací a hustoměrné metody), stanovení přirozené vlhkosti a konzistenčních mezí (vlhkosti na mezi plasticity a tekutosti). Na neporušených vzorcích (ze sond V1-V3) byly provedeny edometrické zkoušky pro stanovení E_{oed} . [2] Výsledky ze zkoušek doporučené průzkumem pro návrh pažící konstrukce jsou shrnuty v tabulce 4.

Tabulka 4: Zatřídění a vlastnosti zemin [2]

Třídy základových půd				
ČSN 73 1001 ČSN EN ISO 14688	F2-CG grCl	F4-CS sasiCl	F6-CI siCl	F8-CH siCl, Cl
Konzistence	pevná	pevná	pevná	pevná
Tab. Výp. Únosnost R_{dt}	275 kPa	250 kPa	200 kPa	160 kPa
Objemová tíha	19,5 kNm ⁻³	18,5 kNm ⁻³	21,0 kNm ⁻³	20,5 kNm ⁻³
Úhel vnitřního tření				
totální	10 °	12 °	10 °	7 °
efektivní	29 °	27 °	21 °	17 °
Koheze				
totální	60 kPa	75 kPa	85 kPa	85 kPa
efektivní	16 kPa	30 kPa	30 kPa	22 kPa
Modul deformace E_{def}	11 MPa	10 MPa	10 MPa	7 MPa
Přv. součinitel β	0,62	0,62	0,47	0,37
Opr. Souč. přitížení m	0,2	0,2	0,2	0,2

2.1.8 Svahové nestability

Za účelem posouzení celkové stability území při realizaci výkopu je nutné zjistit, zda se lokalita nenachází v oblasti náchylné na sesuvy. Tato informace nebyla součástí zprávy z IG průzkumu (pouze doporučuje ověřit celkovou stabilitu území), lze ji však získat z portálu České geologické služby [6]. Zájmová oblast tuto náchylnost k sesuvům vykazuje (obrázek 5), a proto je při vytváření statického modelu nutné dbát na vhodně použité vstupní parametry zemin.



Obrázek 5: Dočasně uklidněná sesuvná oblast v zájmové lokalitě [6]

2.1.9 Zhodnocení IG průzkumu a geotechnických poměrů na lokalitě

Z hlediska návrhu zapažení stavební jámy by bylo žádoucí IG průzkum o některé informace rozšířit. Průzkum sice doporučuje ověření stability území výpočtem, zhodnocením svahových deformací se ale nezabývá.

Ke zjištění, zda se území nachází v sesuvné oblasti, jsem využila veřejně dostupné webové aplikace České geologické služby. [6] Dle této webové aplikace se zájmová oblast nachází v místech s hrozcími sesuvy, což znamená, že je nutné vymezit předpokládanou smykovou zónu a pro ni určit reziduální parametry zeminy. Pro účely diplomové práce byly použity parametry zjištěné na základě dosavadních laboratorních zkoušek, provedených za účelem stanovení reziduální smykové pevnosti neogenních jíílů v Brně. [8] Vzhledem ke skutečnosti, že před samotnou realizací založení objektu je nutné provést a především důkladně zajistit výkop, by také bylo vhodné rozšíření IG průzkumu o presiometrické či dilatometrické měření, s jejichž využitím lze získat přesnější informace o vodorovném přetváření zeminy. [9]

Geotechnické poměry na lokalitě lze s ohledem na svahovou nestabilitu území označit za složité, co se týká charakteru konstrukce, jde o konvenční typ. Konstrukce byla na základě těchto skutečností zařazena do 2. geotechnické kategorie a statický výpočet proveden v souladu s EC7.

3. Zajištění stavební jámy

V průběhu několika posledních desetiletí se jako odezva na vzrůstající potřebu zakládání ve složitějších geologických podmínkách (například v rámci intravilánu, kde je vysoká poptávka po využití dosud nezastavěných prostor) začalo využívat poměrně hojného počtu metod speciálního zakládání. Protože se jedná o zakládání často v prudkých svazích, ve velkých hloubkách či v těsné blízkosti jiných staveb, je nevyhnutelná realizace hlubokých výkopů. Takové výkopy se pak musí zajistit, aby nedošlo k zavalení stavebních jam, ohrožení osob a poškození okolních budov. Zajištění stavebních jam se realizuje prostřednictvím různých pažících technik. Návrh pažící konstrukce je ovlivněn řadou faktorů. Jsou jimi [10]:

- inženýrskogeologické a hydrogeologické poměry na staveništi
- půdorysné rozměry stavební jámy a dostupnost pro stavební techniku
- reliéf terénu, hloubka jámy a hloubka základových spár okolních objektů
- na charakteru a stupni prozkoumanosti okolní zástavby
- na velikosti prostoru, který lze pro pažící konstrukci využít
- na požadavku charakteru konstrukce
- na skutečnosti, zda má konstrukce plnit těsnící funkci
- na požadavku na likvidaci pažící konstrukce
- na požadavku na tuhost pažící konstrukce a její přípustné deformování

V další části této kapitoly jsou krátce popsány pažící konstrukce, které jsou vhodné pro zajištění stavební jámy na ul. Provazníková.

3.1 Záporové pažení

Jedna z nejpoužívanějších metod dočasněho charakteru, která se obvykle využívá na zajištění svislých výkopů stavebních jam a hlubokých rýh. Součástí konstrukce záporového pažení jsou zápor, pažiny, stabilizační prvky, převázky a případné další součásti související se specifickými podmínkami, jako je například rubové odvodnění atp. Zápor jsou vertikální prvky z ocelových nosníků (profilů I č. 300-400, HEB č. 240-340, 2xU č. 260-300). Zápor lze beranit či vibrovat (I, HEB) nebo se vkládají do vrtů (vhodnější varianta pro intravilán). Vetknutá část zápor by měla měřit alespoň 1,5 m.

Navrhují se obvykle v osově vzdálenosti 1-3 m, typicky 2 m. Funkci pažin většinou plní dřevěné prvky (hranoly, kuláče, fošny aj.), ocelové prvky či betonové prefabrikáty. Stabilizačními prvky rozumíme buď rozpěry nebo kotvy s převázkou. Životnost záporového pažení je omezená obvykle životností dočasných kotev, která činí obvykle 2 roky. Tento způsob zajištění stavební jámy lze realizovat třemi způsoby. Záporová stěna může být buď volně stojící, jednonásobně kotvená či rozepřená, či vícenásobně kotvená či rozepřená. [10]



Obrázek 6: Kotvené záporové pažení [11]

3.2 Pilotové stěny

Jedná se o hojně využívaný typ zajištění výkopů a to z několika důvodů. Piloty se vytváří vrtáním, což je poměrně účinná technologie, pro kterou jsou k dispozici výkonné stroje. Jednotlivé vrty se paží převážně ocelovými pažnicemi (jinou alternativou je použití pažicí suspenze). V neposlední řadě lze pilotové stěny velmi dobře přizpůsobit požadavkům staveniště. V mnoha případech plní pilotové stěny dvojí účel, mají buď pažicí a konstrukční funkci, nebo konstrukční a sanační funkci. Z hlediska vzájemné osově vzdálenosti jednotlivých pilot rozeznáváme 3 typy uspořádání: osová vzdálenost sousedních pilot je větší než průměr piloty (mezery se vyplňují vyztuženým stříkaným

betonem), osová vzdálenost odpovídá průměru piloty - tzv. tangenciální stěny (zřídka, výhodou je, že není potřeba navrhovat předsazené převázky), osová vzdálenost je menší než průměr piloty - tzv. převrtávané stěny (vodotěsné, piloty primární – nevyztužené s těsnicí funkcí, sekundární - vyztužené). Z hlediska výškového uspořádání lze pilotové stěny dělit na volně stojící (bez kotvení či rozepření, s volnou výškou do 5-6 m) a kotvené (v ČR výjimečně i rozepřené). [10]



Obrázek 7: Pilotová stěna převrtávaná s jednoúrovňovým kotvením [12]

3.3 Podzemní stěny (Milánské stěny)

Liniové konstrukce trvalého charakteru zpravidla o šířce 40 – 100 cm. Mohou plnit funkci těsnicí, pažící a konstrukční. Těsnicí stěny jsou tvořeny jílocementovou suspenzí nebo prostým betonem. Požadavek na pevnost u těchto těsnicích materiálů není významný, protože se nejedná o stěny obnažené a nedochází proto k ohybovému namáhání. Pažící podzemní stěny mají charakter dočasně působící konstrukce a vzhledem k charakteru konstrukce (ŽB podzemní stěna), plní zároveň i konstrukční funkci. Mohou dosahovat hloubky až několik desítek metrů a jsou to konstrukce velmi tuhé. Lze je realizovat jako monolitické (převažují) nebo prefabrikované. Jsou schopné odolávat hydrostatickému tlaku, a proto je řadíme mezi konstrukce vodotěsné. [10] [13]



Obrázek 8: Podzemní stěna [14]

3.4 Výběr typu pažící konstrukce pro jámu Provazníková

Z výše uvedeného přehledu pažících technik se pro použití v rámci zajištění projektovaného výkopu jako dvě nejvhodnější jeví tyto: záporové pažení a pilotová stěna. Projektovaný výkop nezasahuje pod hladinu podzemní vody, proto není nutné volit vodotěsnou konstrukci, jakou je například štětovnicová stěna, trysková injektáž či převrtávaná pilotová stěna. Současně jsou obě preferované technologie odpovídající alternativou ve vztahu k výšce výkopu, kdy pro hlubší výkopy by bylo vhodné uvážit použití podzemní stěny. Protože bude stavba realizována v sesuvném území, je účelnější použití konstrukce s vyšší tuhostí v ohybu. Z tohoto hlediska je z dvou vybraných možností vhodnější pilotová stěna. Zajištění výkopu bude tedy provedeno s využitím kotvené pilotové stěny. Pilotová stěna je navrhována jako dočasná. Z hlediska jejího uspořádání byl zvolen typ s velkou osovou vzdáleností pilot. Vzhledem k hloubce stavební jámy bude nutné navrhnout stěnu vícenásobně kotvenou.

4. Statický výpočet

Vytvoření modelů pro posouzení zajištění stavební jámy bylo realizováno s využitím studentské verze softwaru Geo 5 firmy Fine (Pažení návrh – předběžný návrh délky konstrukce a předpínacích sil kotev, Pažení posudek – posouzení únosnosti a použitelnosti konstrukce, Stabilita svahu – posouzení celkové stability). [15] Únosnost horninových kotev a ŽB převážek byla posouzena ručně s využitím tabulkového editoru Microsoft Excel. Průběh vnitřních sil na v převážkách byl vypočten s využitím zkušební verze programu RFEM 5 společnosti Dlubal software [16]. Vyztužení a únosnost pilot byla posouzena s využitím studentské verze programu Idea Statica 7 [17]. K posouzení smykových kotev na rozhraní pilota-převázka byl využit volně dostupný software společnosti Fischer – fischer compufix [18].

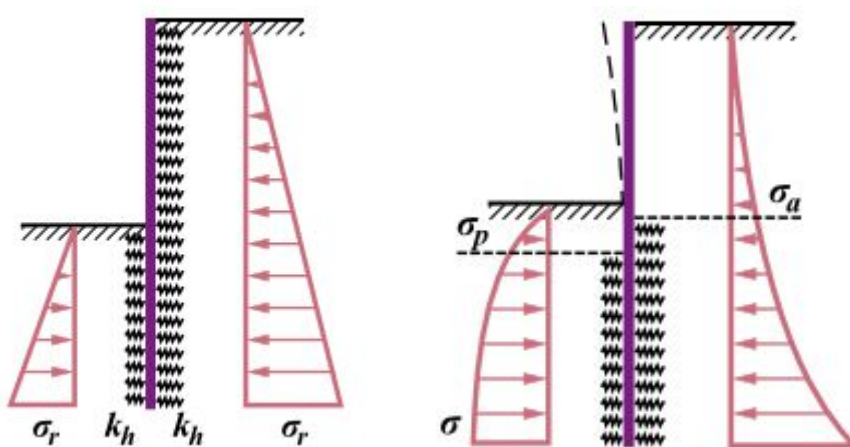
4.1 Geo 5 – metoda výpočtu

Současná doba umožňující neomezený přístup k informačním technologiím umožnila postupně aplikovat znalosti z oboru stavební mechaniky a matematiky ve zcela jiném rozsahu. Proto jsou dnes samozřejmostí modely založené na iteračních postupech či modely využívající k řešení numerické metody, mezi nimiž vévodí metoda konečných prvků. V rámci geotechniky a v oblasti analýzy pažicích konstrukcí hovoříme na základě těchto dostupných principů o dvou základních přístupech. První možností je navržení statického modelu za pomoci prutů, kdy je pažicí konstrukce uvažována jako nosník uložený na tuhých podporách či na pružném podkladě. Druhou variantou je pak tvorba rovinného respektive prostorového modelu, kdy je pažicí konstrukce spolu s okolním prostředím analyzována s využitím již zmíněných numerických metod (například metoda konečných prvků, metoda sítí atd.). [19]

Návrh konstrukce, který je předmětem této diplomové práce, byl provedený s využitím modelu prutového s uvažováním uložení na tuhých podporách (Geo5 – Pažení návrh) i na pružném podkladě (Geo 5 – Pažení posudek). Model uvažující nosník uložený na tuhých podporách je využitý k získání předběžného návrhu délky pažicí konstrukce a předpínacích sil v kotvách. V dalších krocích se pracuje s modelem nosníku na pružném podkladě. V geotechnice se v této souvislosti využívá takzvaná metoda závislých tlaků, která pružné podloží modeluje jako ideální pružno-plastickou

Winklerovu hmotu, kde platí předpoklad, že reakce podloží je přímo úměrná zatlačení nosníku do tohoto podloží. [15] Horninu pak nahrazují tlaky závislé na deformaci nosníku. [20]

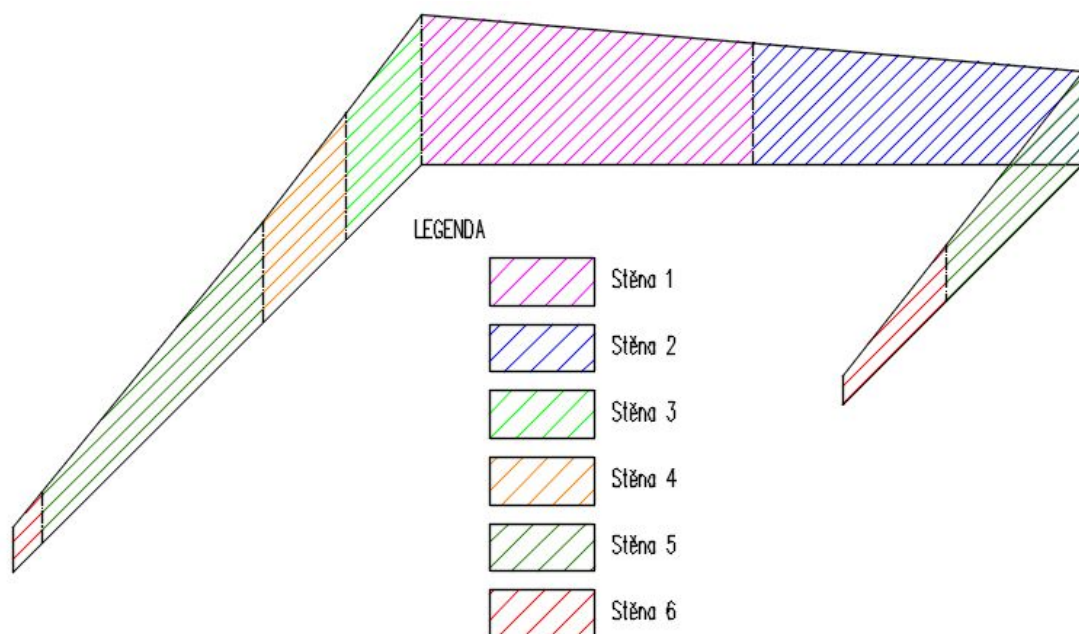
Prakticky výpočet probíhá tak, že se všem pružným podporám v modelu přiřadí modul reakce podloží a konstrukce je zatížena klidovým tlakem (obrázek 9 vlevo), provede se výpočet a zkontroluje splnění podmínek působení tlaku na stěnu. Tam kde podmínky splněny nejsou, se pružině přiřadí modul reakce podloží roven nule a stěna se zatíží odpovídajícím tlakem (obrázek 9 vpravo). Tímto způsobem se iteruje až do chvíle splnění všech předepsaných podmínek.



Obrázek 9: Vlevo - konstrukce před první iterací, vpravo – konstrukce v průběhu iterování [15]

4.2 Kotvená pilotová stěna

Protože je stavební jáma umístěna ve svažitém terénu, mění se po jejím obvodě výška volného výkopu, který je potřeba zajistit. Návrh pažení je s ohledem na tuto skutečnost rozčleněn na 6 částí (obrázek 10). Jednotlivé části jsou pak označeny jako stěna 1 – 6 a v textu je dále používáno toto označení. Návrh a posouzení všech částí pažení (stěna 1- 6) je v principu stejný. Přílohou část B bude tedy na základě této skutečnosti a z důvodu redukce poměrně velkého objemu dat omezena na prezentování statických výpočtů vztahujících se ke stěně 1. Výsledky týkající se všech částí konstrukce, jsou pak součástí následujícího textu.



Obrázek 10: Schéma členění stavební jámy pro potřeby statického výpočtu

4.2.1 Nastavení výpočtu

Statický výpočet byl realizován v souladu s platnou evropskou normou EN 1997, výpočet zemních tlaků pak dle české normy ČSN 73 0037. Pro návrh pažicí konstrukce byl zvolen návrhový přístup 2. Při realizaci výpočtu vycházíme z předpokladu, že zemina se chová jako ideálně pružno-plastické Winklerovo podloží (viz kapitola 4.1.), které je charakterizováno modulem reakce podloží k_h a mezními deformacemi, při kterých vlastnosti přechází v pružno-plastické. Další nastavení výpočtu ukazuje obrázek 11.

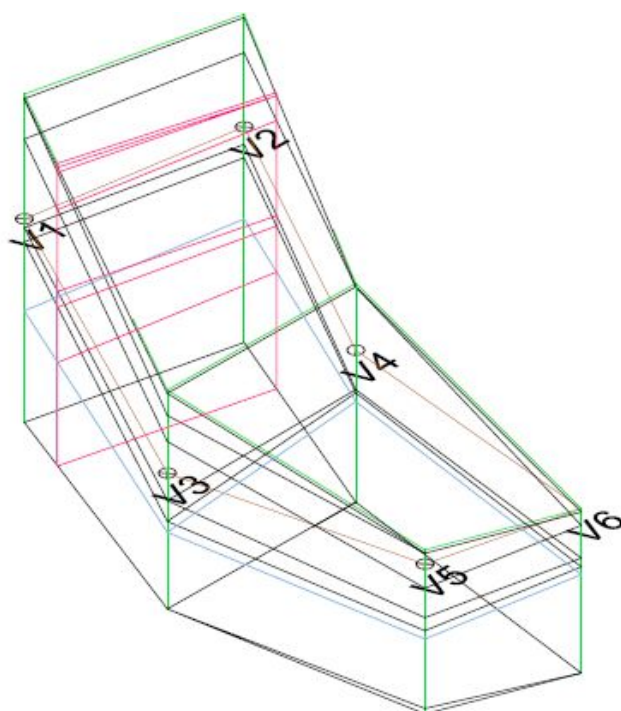
Materiály a normy		Výpočet tlaků
Výpočet aktivního tlaku :	Coulomb (ČSN 730037)	
Výpočet pasivního tlaku :	Caquot-Kerisel (ČSN 730037)	
Metoda výpočtu :	závislé tlaky	
Výpočet zemětřesení :	Mononobe-Okabe	
Modul reakce podloží :	standardní	
<input checked="" type="checkbox"/> Redukovat modul reakce podloží pro záporové pažení		
Metodika posouzení :	výpočet podle EN1997	
Návrhový přístup :	2 - redukce zatížení a odporu	

Trvalá návrhová situace	Dočasná návrhová situace	Mimořádná návrhová situace	Seismická návrhová situace
— Součinitele redukce zatížení (F) —			
Stálé zatížení :	$\gamma_G =$	<input type="text" value="1,35"/> [-]	<input type="text" value="1,00"/> [-]
Proměnné zatížení :	$\gamma_Q =$	<input type="text" value="1,50"/> [-]	<input type="text" value="0,00"/> [-]
Zatížení vodou :	$\gamma_w =$	<input type="text" value="1,35"/> [-]	
Hydraulický zdvih (HYD) :	$\gamma_h =$	<input type="text" value="1,35"/> [-]	<input type="text" value="0,90"/> [-]
— Součinitele redukce odporu (R) —			
Součinitel redukce stability kotvy :	$\gamma_{Ris} =$	<input type="text" value="1,10"/> [-]	
Součinitel redukce zemního odporu :	$\gamma_{Re} =$	<input type="text" value="1,40"/> [-]	

Obrázek 11: Nastavení výpočtu

4.2.2 Geotechnický model

Geologický profil zeminy byl v programu Geo 5 – Pažení posudek namodelován na základě informací z IG průzkumu. Dle realizovaných vrtů byl v programu AUTO Cad vytvořen prostorový geologický model vrstev podloží (obrázek 12). Pro každý úsek pažení byl pak vytvořen charakteristický geologický profil s příslušnými parametry zemin (charakteristické hodnoty) (tabulka 5).



Obrázek 12: Prostorový geologický model

Tabulka 5: Parametry zemin [2]

GTyp	γ_d [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	$\varphi' *$ [°]	$c' *$ [kPa]	E_{def} [MPa]	ν [-]
F6	21	21	21	30	10	0,4
F8	20,5	20,5	17	22	7	0,42
R5	21	21	23	90	50	0,25

*Efektivní parametry jsou v případě výpočtu vnější stability konstrukce nahrazeny reziduálními hodnotami

V rámci posuzování stability konstrukce v programu Geo5 – Stabilita svahu byly s ohledem na skutečnost, že se zájmová lokalita nachází v sesuvné oblasti, použity namísto vrcholových parametrů zemin parametry reziduální. Stanovením reziduálního úhlu vnitřního tření se zabýval Fencel. [8] Po zhodnocení všech dostupných informací o stanovení reziduálních parametrů jsem pro jíly v rámci své analýzy volila $\varphi'_{rez} = 13,5^\circ$.

Důvodem, proč nebylo s reziduálními parametry uvažováno již při posouzení únosnosti konstrukce je skutečnost, že bylo toto posouzení realizováno v souladu s EN 1997, čili podle teorie mezních stavů, kdy tato norma při uplatňování součinitelů spolehlivosti nezohledňuje charakter vstupních parametrů (nerozlišuje, zda do výpočtu vstupují parametry vrcholové či reziduální). V kombinaci reziduálních parametrů a redukčních součinitelů doporučených touto normou bychom pak pracovali s hodnotami, které jsou ve srovnání s realitou významně podhodnocené, což by vedlo ke zbytečnému předimenzování navrhované konstrukce.

4.2.3 Geometrie

Geometrii jednotlivých částí pažení uvádí tabulka 6.

Tabulka 6: Geometrie pilotové stěny

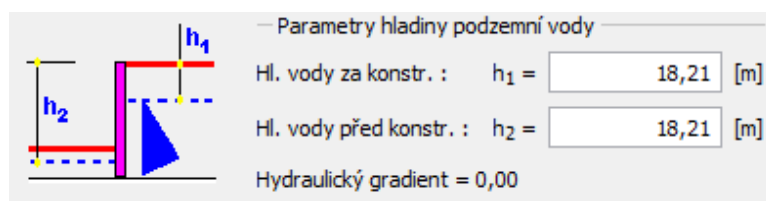
	pažená výška	délka pilot	průměr pilot	vzdál. pilot	kotvení	délka stěny
stěna 1	7,7 m	17 m	0,9 m	1,5 m	ano	17,4 m
stěna 2	6,25 m	15,5 m	0,9 m	1,5 m	ano	17,4 m
stěna 3	7,7 m	15,5 m	0,9 m	1,5 m	ano	5,4 m
stěna 4	6,25 m	13 m	0,9 m	1,5 m	ano	8,4 m
stěna 5	4,8 m	7 m	0,9 m	1,5 m	ano	12,9 m
stěna 6	2,8 m	4,5 m	0,9 m	1,5 m	ne	9,9 m

4.2.4 Materiál

Piloty jsou navrženy z betonu C20/25, výztuž z oceli B500.

4.2.5 Hladina podzemní vody

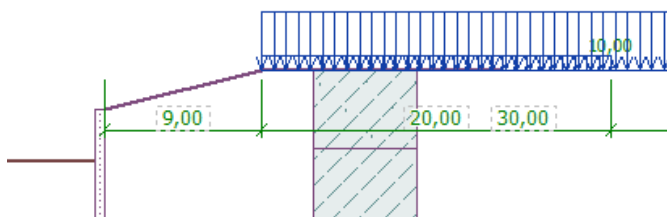
IG průzkum potvrdil přítomnost podzemní vody, která je v modelu uvažována v hloubce 18,21 m (respektive 16,21 m). Podloží je uvažováno jako nepropustné, což vyplývá z charakteru jílovitých zemin. Přesto, že voda vykazuje chemickou agresivitu (viz kapitola 2.1.6.), nevyžaduje pilotová stěna zvláštní ochranu, protože do hloubky výskytu podzemní vody nezasahuje.



Obrázek 13: Modelování přítomnosti podzemní vody

4.2.6 Přetížení

V modelu bylo pro stěnu 1 a 2 uvažováno pásové přetížení 10 kN/m^2 , které simuluje zatížení dopravou na ulici Provazníková, sousedící se zájmovým územím, jedná se o zatížení nahodilé. Dále bylo pro tyto dvě pažené výšky uvažováno pásové zatížení 89 kN/m^2 , které nahrazuje tíhu zeminy za stávající opěrnou zdí na severní straně pozemku (obrázek 14).



Obrázek 14: Schéma modelu terénu za konstrukcí

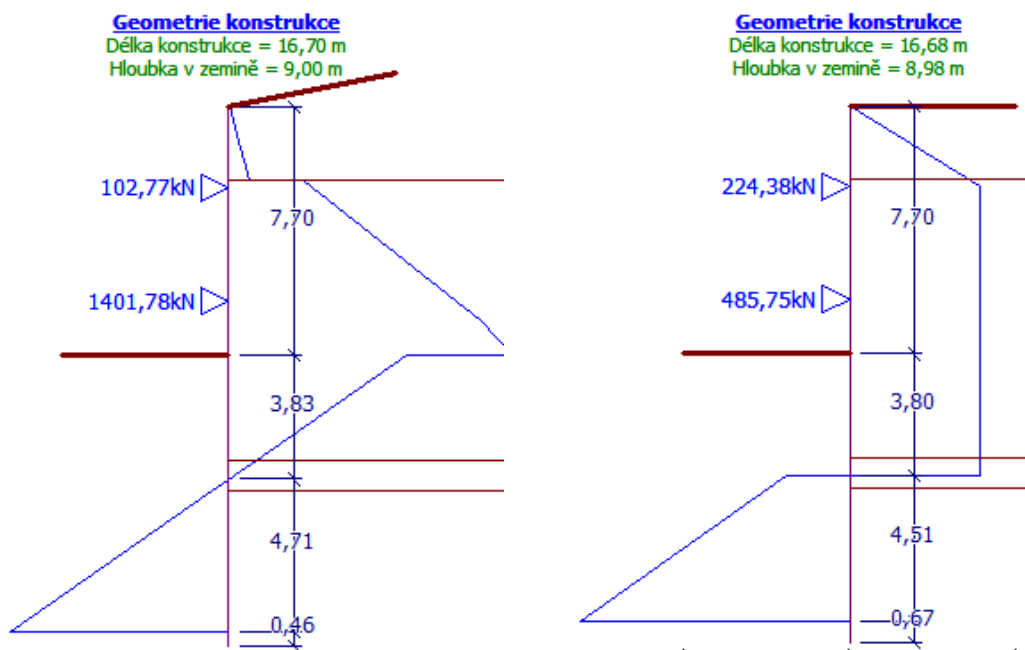
4.2.7 Kotvy

Za účelem stabilizace pilotové stěny byly navrženy horninové kotvy. Pro stěny 1, 2, 3 a 4 ve dvou úrovních, pro stěnu 5 v jedné úrovni. Stěna 6 nevyžaduje ukotvení. Kotvy byly navrženy jako dočasné, pramencové z oceli 1570/1770 MPa s plochou pramence 140 mm². Předpokládá se použití kotev Freyssinet s vlastnostmi uvedenými v tabulce 7. Posouzení jejich únosnosti je provedeno ručním výpočtem a je součástí přílohy B.

Součástí navrhování kotev byl předběžný výpočet pro určení jejich předpínací síly. K tomuto účelu byl použit program firmy fine Geo 5 – Pažení návrh. Výstupem výpočtu je průběh zemních tlaků po výšce konstrukce. Zemní tlaky vyvolávají v konstrukci napětí, které má lineární průběh. Toto původní lineární rozdělení se však vlivem pootočení, posunů a průhybů konstrukce mění. Proto je nutné primární zemní tlaky v souladu s doporučeními v normě redistribuovat. [20] Příklad redistribuce zemních tlaků pro stěnu 1 je uveden na obrázku 15. Redistribuce byla prováděna ručně s využitím tabulkového editoru Microsoft Excel jako nástroje pro numerickou integraci prvotního tlakového obrazce.

Tabulka 7: Základní parametry pramencových kotev pro ocel 1570/1770 MPa [21]

počet pramenců	průřezová plocha A [mm ²]		zatížení na mezi kluzu $P_{0,1k} = A \cdot f_{0,1k}$ [kN]		zatížení na mezi pevnosti $P_{tk} = A \cdot f_{tk}$ [kN]		kotevní síla $P_o \leq 0,6P_{tk}$ [kN]		hmotnost pramenců [kg/m]		doporučený průměr vrtu [mm]
	0,60" (140 mm ²)	0,62" (150 mm ²)	0,60" (140 mm ²)	0,62" (150 mm ²)	0,60" (140 mm ²)	0,62" (150 mm ²)	0,60" (140 mm ²)	0,62" (150 mm ²)	0,60" (140 mm ²)	0,62" (150 mm ²)	
2	280	300	440	471	496	531	297	319	2,20	2,36	90 - 120
3	420	450	659	707	743	797	446	478	3,30	3,54	
4	560	600	879	942	991	1062	595	637	4,40	4,72	
5	700	750	1099	1178	1239	1328	743	797	5,50	5,90	105-140
6	840	900	1319	1413	1487	1593	892	956	6,60	7,08	
7	980	1050	1539	1649	1735	1859	1041	1115	7,70	8,26	
8	1120	1200	1758	1884	1982	2124	1189	1274	8,80	9,44	130-150
9	1260	1350	1978	2120	2230	2390	1338	1434	9,90	10,62	
10	1400	1500	2198	2355	2478	2655	1487	1593	11,00	11,80	
12	1680	1800	2638	2826	2974	3186	1784	1912	13,20	14,16	150-195
15	2100	2250	3297	3533	3717	3983	2230	2390	16,50	17,70	
19	2660	2850	4176	4475	4708	5045	2825	3027	20,90	22,42	
22	3080	3300	4836	5181	5452	5841	3271	3505	24,20	25,96	

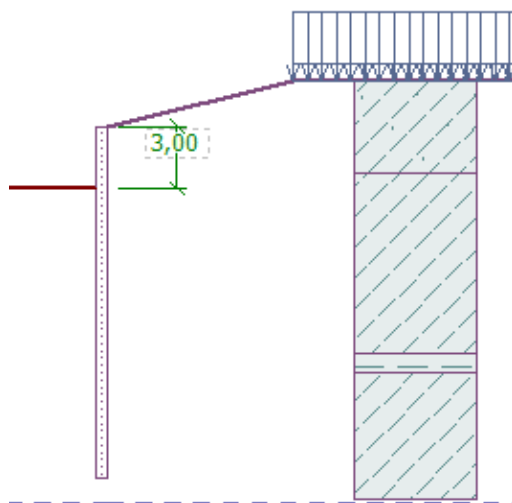


Obrázek 15: Průběh zemního tlaku po výšce konstrukce před a po redistribuci

4.2.8 Fáze výstavby stavební jámy

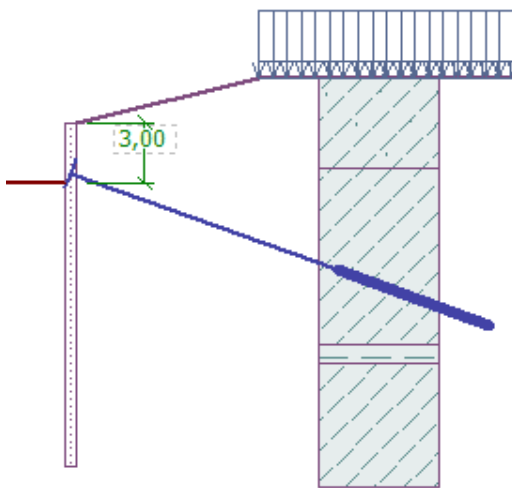
Výpočetní program Geo 5 – Pažení posudek umožňuje vytvářet model se zohledněním jednotlivých fází výstavby, kdy každou z těchto fází řeší zvlášť a výsledky z jednotlivých fází zahrnuje do výsledné obálky vnitřních sil. Nejdříve se realizují piloty, poté lze přistoupit k hloubení jámy. Postupuje se vždy tak, že se odkope terén na požadovanou pracovní úroveň, která umožní v následujícím kroku instalovat kotvu. Jakmile je aktivován kořen kotvy vytvrdnutím injektážní směsi, kotvy se předechnou a pokračuje se s dalším hloubením. Podrobně je celý postup popsán v dalším textu a to pro stěnu 1. Údaje o hloubení zbylých stěn jsou obsahem tabulky 8.

V prvním kroku se provede odkop terénu na první pracovní úroveň, tj. 3,0 m pod úroveň terénu (obrázek 16).



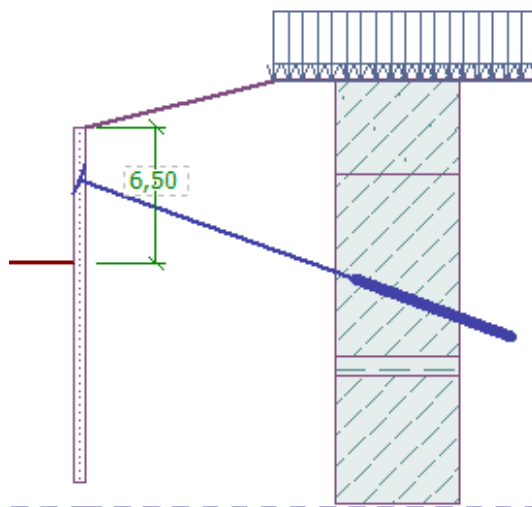
Obrázek 16: Hloubení na první pracovní úroveň – fáze 1

V druhém kroku proběhne instalování první řady horninových kotev. Ty se nachází v hloubce 2,5 m a v osové vzdálenosti 1,5 m. Jakmile jsou kotvy instalovány a kořen kotev aktivní, napnou se na požadovanou předpínací sílu (obrázek 17).



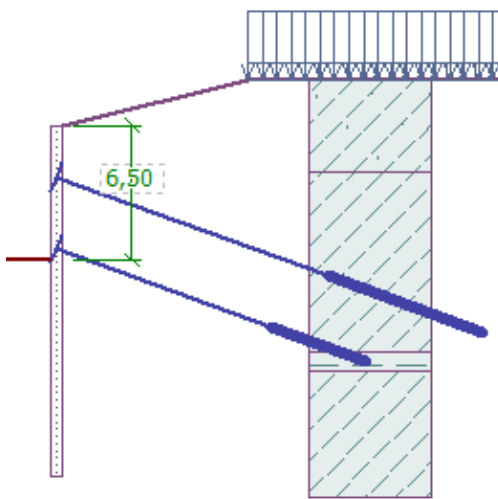
Obrázek 17: Instalace první řady kotev – fáze 2

Po instalaci kotev lze pokračovat v hloubení stavební jámy. Druhá pracovní úroveň je v hloubce 6,5 m pod úrovní terénu (obrázek 18).



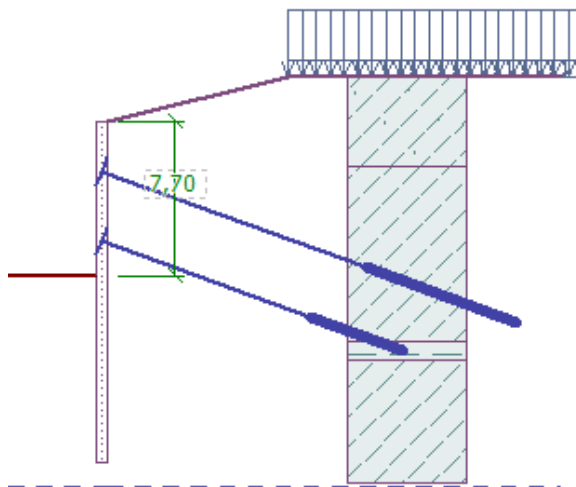
Obrázek 18: Hloubení na druhou pracovní úroveň – fáze 3

Po vyhloubení na druhou pracovní úroveň může být realizována druhá řada kotev. Tyto kotvy jsou ve vzdálenosti 6 m pod povrchem terénu, osová vzdálenost činí 3 m. Kotvy se opět po vytužení kořene předeprnou (obrázek 19).



Obrázek 19: Instalace druhé řady kotev – fáze 4

V posledním kroku je jáma vyhloubena do úrovně navrhovaného dna, to znamená 7,7 m pod úroveň terénu (obrázek 20).



Obrázek 20: Hloubení na úroveň dna jámy – fáze 5

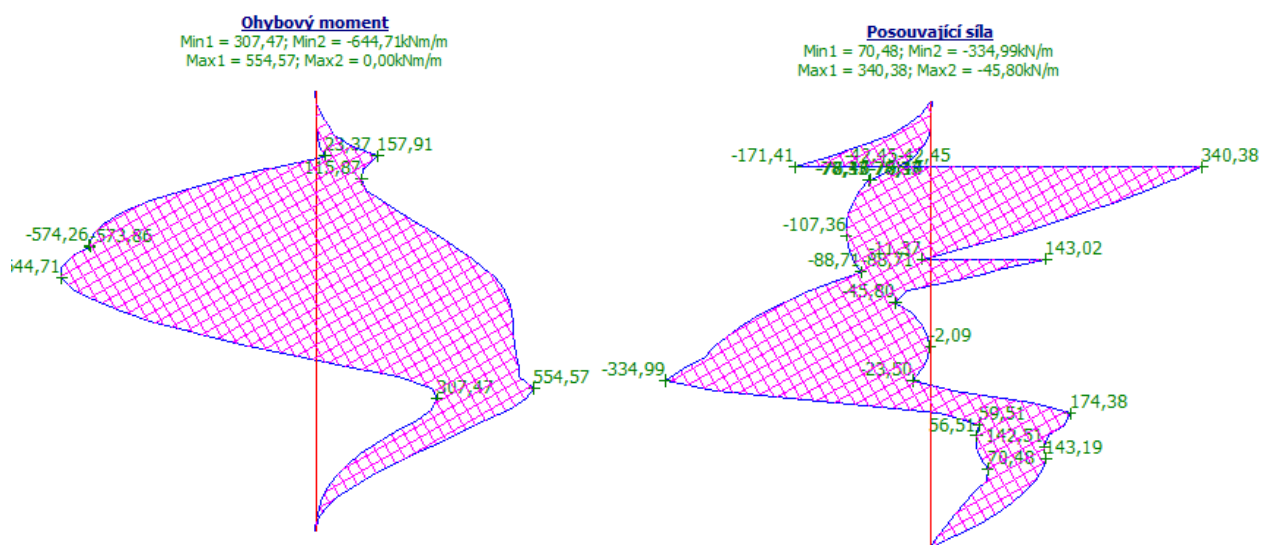
Tabulka 8: Fáze hloubení stěn 1-6

	fáze 1 hloubení	fáze 2 kotvení	fáze 3 hloubení	fáze 4 kotvení	fáze 5 hloubení
stěna 1	3 m	2,5 m	6,5 m	6 m	7,7 m
stěna 2	2,5 m	2 m	6 m	5,5 m	6,25 m
stěna 3	3 m	2,5 m	6,5 m	6 m	7,7 m
stěna 4	2,5 m	2 m	6 m	5,5 m	6,25 m
stěna 5	2,5 m	2 m	4,8 m	x	x
stěna 6	2,8 m	x	x	x	x

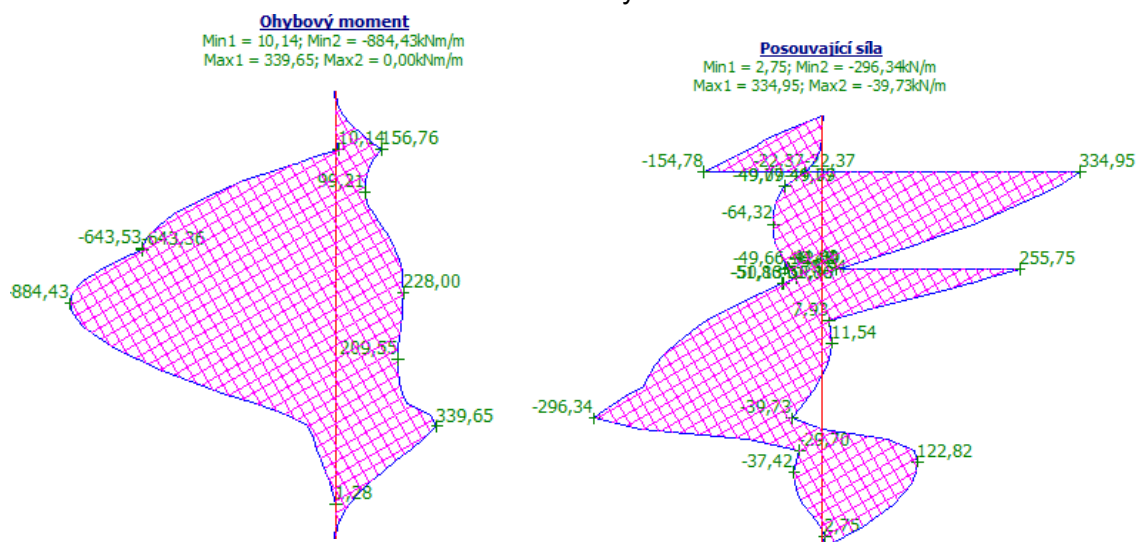
4.3 Výsledky

4.3.1 Mezní stav únosnosti

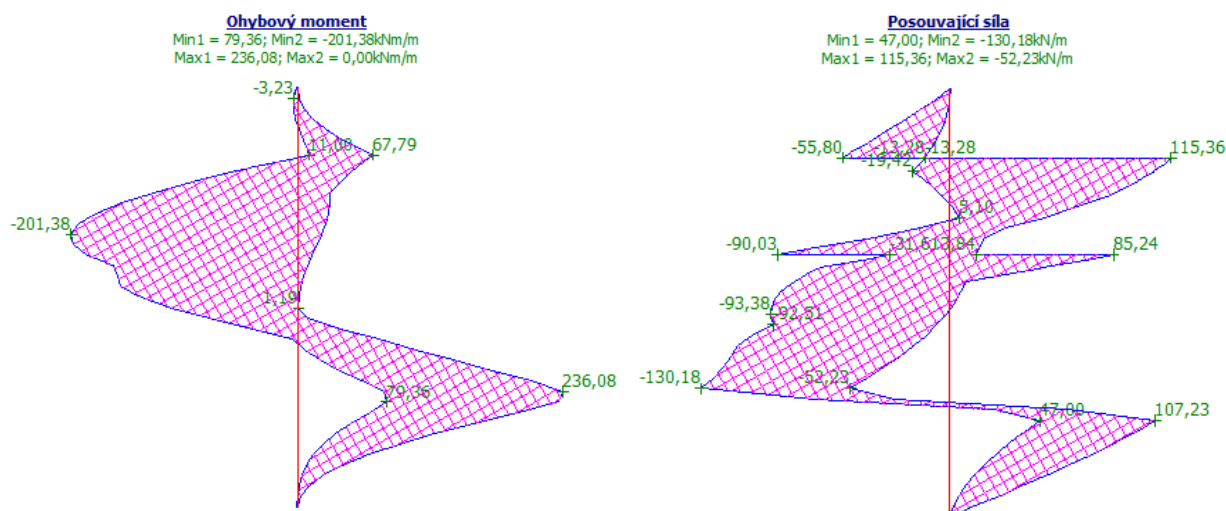
S využitím softwaru Geo 5 – Pažení posudek získáváme průběh vnitřních sil po výšce konstrukce a to v hodnotách, vztahujících se k jednomu metru délky konstrukce. Při posuzování únosnosti pilot je proto vždy nutné neopomenout zohlednit jejich osovou vzdálenost.



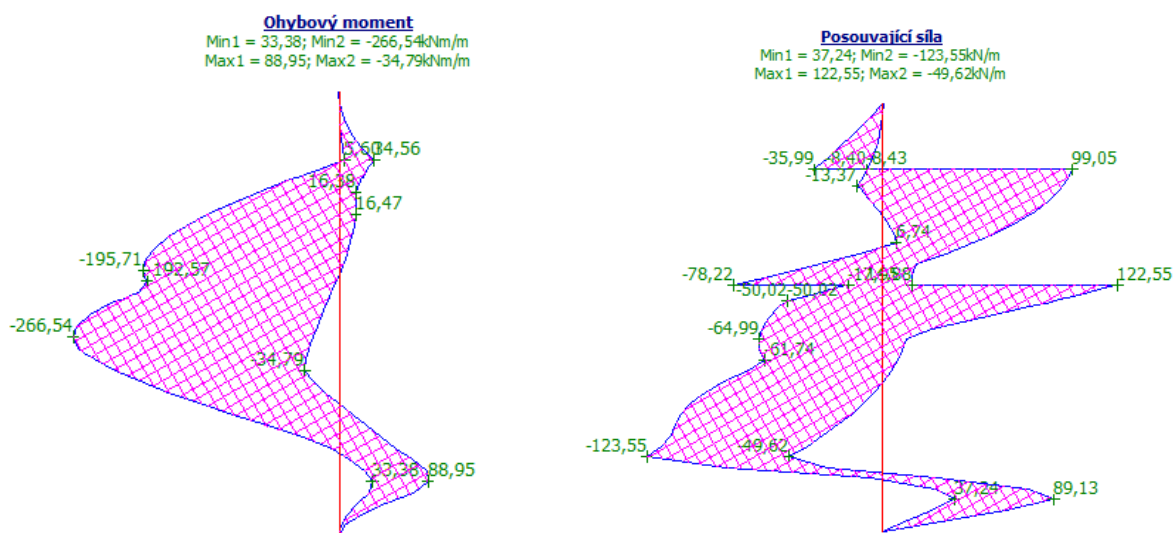
Obrázek 21: Vnitřní síly na konstrukci 1



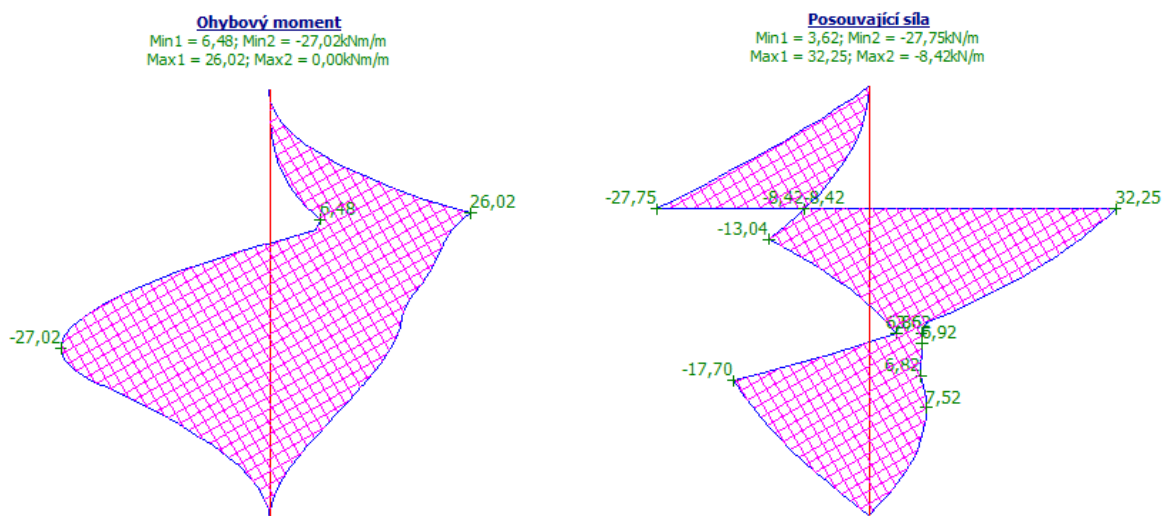
Obrázek 22: Vnitřní síly na konstrukci 2



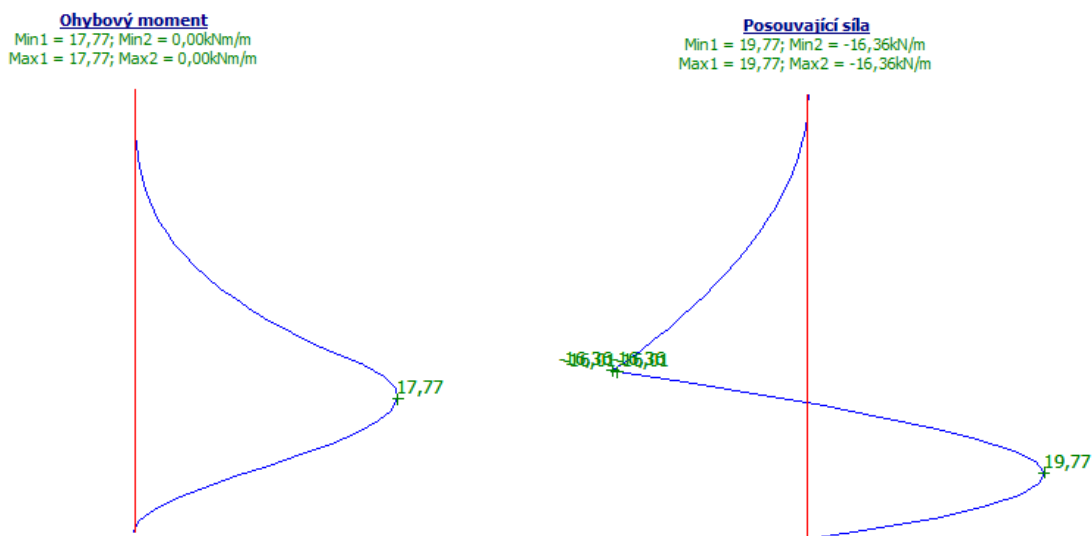
Obrázek 23: Vnitřní síly na konstrukci 3



Obrázek 24: Vnitřní síly na konstrukci 4

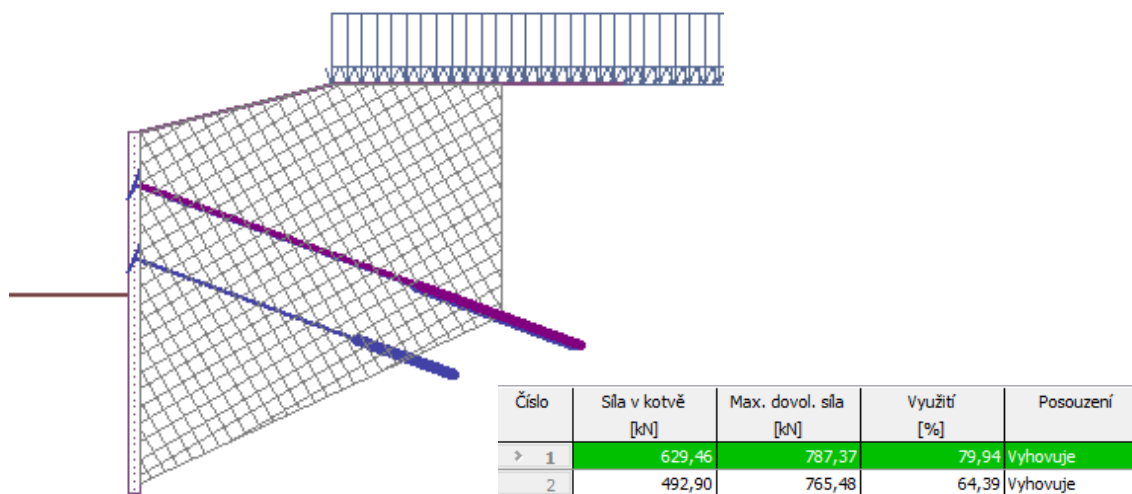


Obrázek 25: Vnitřní síly na konstrukci 5

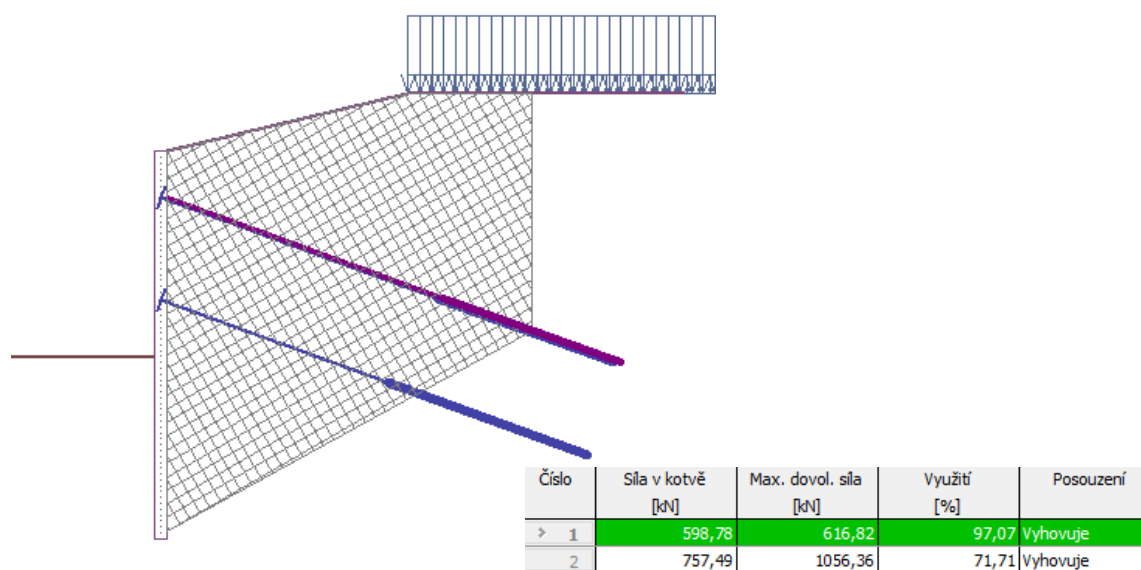


Obrázek 26: Vnitřní síly na konstrukci 6

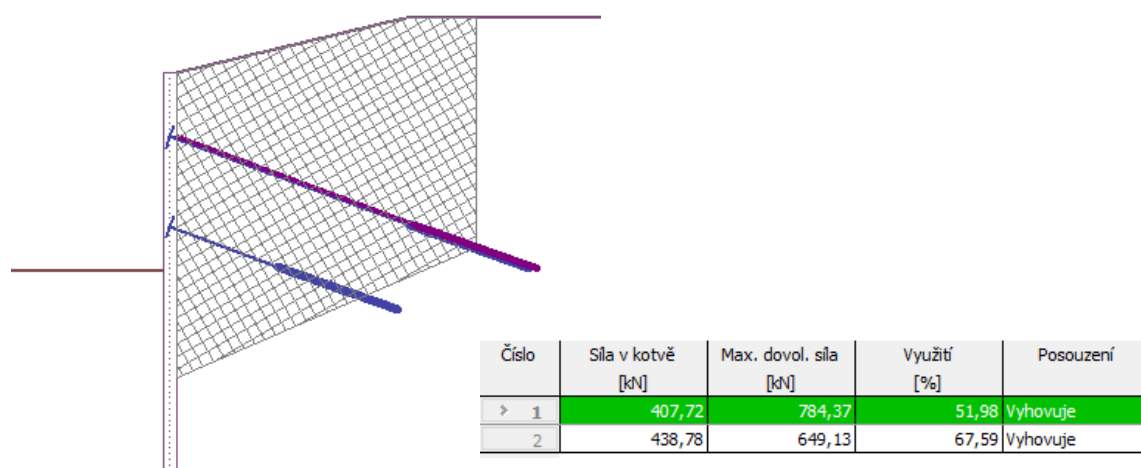
Dále je nutné posoudit vnitřní stabilitu horninových kotev, k tomuto účelu byl rovněž použit software Geo 5 – Pažení posudek. Posudkem vnitřní stability dochází k ověření, že vlivem kotevní síly nedojde k odtržení horninového klínu. [19] Software nalezne maximální přípustné kotevní síly, pro které je ještě zachována vnitřní stabilita, které pak porovnává se skutečnými silami zadanými v kotvách. [15] Výsledky jsou uvedeny na obrázcích 27 - 31.



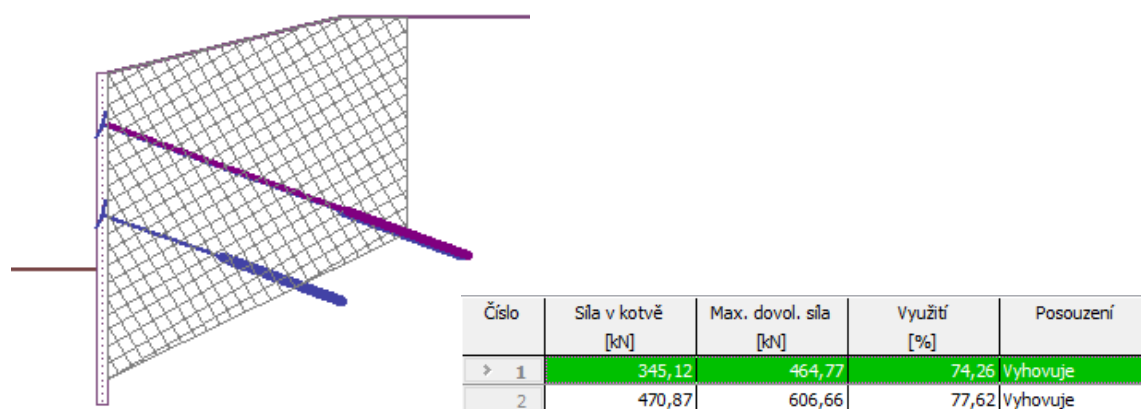
Obrázek 27: Ověření vnitřní stability kotev ve stěně 1



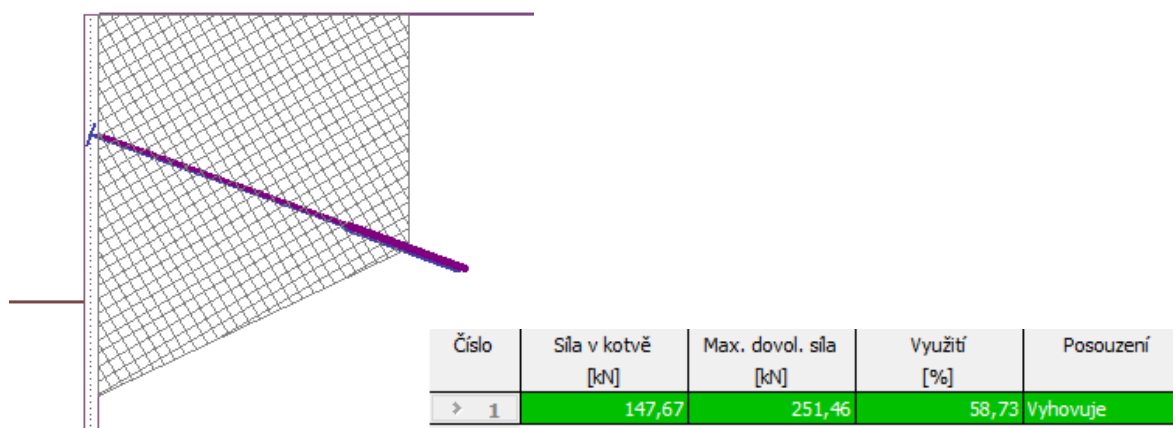
Obrázek 28: Ověření vnitřní stability kotev ve stěně 2



Obrázek 29: Ověření vnitřní stability kotev ve stěně 3



Obrázek 30: Ověření vnitřní stability kotev ve stěně 4



Obrázek 31: Ověření vnitřní stability kotev ve stěně 5

Posouzení je založené na nalezení takové kotevní síly, jež uvede soustavu sil působící na vyznačený blok zeminy (viz obrázky 27 - 31) do rovnováhy. Sestavením statických podmínek rovnováhy pro svislé a vodorovné síly jsou získány dvě rovnice o dvou neznámých, jejichž řešením je reakce podloží a maximální přípustná síla v kotvě. Ta je poté, jak je výše zmíněno, porovnána se skutečnou zadanou silou. [15]

Je také nalezeno maximální namáhání kotev osovou silou. Ta nesmí překračovat návrhovou únosnost kotvy. Výpočet této únosnosti se provede následovně:

Stanovení návrhové únosnosti kotvy vychází ze dvou dílčích výpočtů. Prvním z nich je posouzení únosnosti kotvy proti vytažení, druhým pak posouzení konstrukční únosnosti kotvy.

Únosnost proti vytažení je funkcí plochy kořenového pláště a plášťového tření. Charakteristickou hodnotu získáme následujícím výpočtem [20]

$$R_{a,k} = \pi \cdot d \cdot L_k \cdot \tau_i$$

kde d je průměr vrtu
 L_k je délka kořene kotvy
 τ_i je plášťové tření.

Pro získání návrhové hodnoty se pak výraz krátí dílčím součinitelem únosnosti předpjatých kotev, který má v tomto případě dle tabulky A.12 v platné normě velikost 1,1. [22]

Druhým výpočtem získáme konstrukční únosnost kotvy, která zohledňuje nosnou schopnost táhla. Její velikost je tedy závislá na ploše táhla a také na charakteristické pevnosti použitého materiálu [20]

$$R_{ik} = P_{tk} = A_t \cdot f_t$$

kde A_t je průřezová plocha kotevního táhla,
 f_t charakteristická pevnost kotevního táhla v tahu.

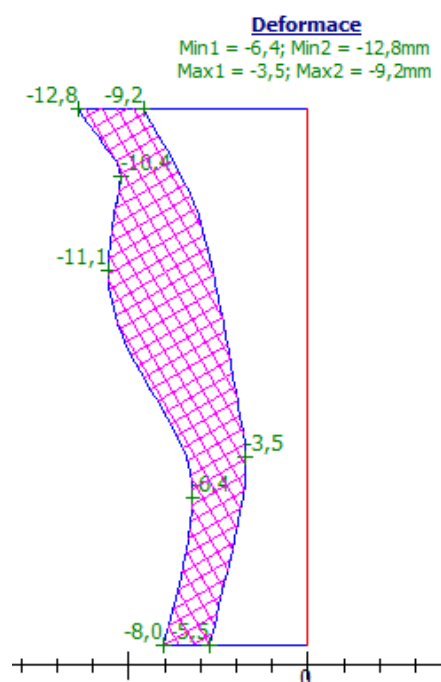
Kotvy jsou navrženy z pramenců průměru 15,5 mm, s mezí pevnosti 1770 MPa a odpovídající mezí kluzu 1570 MPa. Pro vyčíslení návrhové konstrukční únosnosti se dle tabulky A.3 platné normy výraz krátí koeficientem 1,35. [22]

Celková návrhová únosnost kotvy pak odpovídá minimu ze dvou výše zmíněných hodnot. Jednotlivé posudky únosnosti kotev pro stěnu 1 jsou součástí přílohy B.

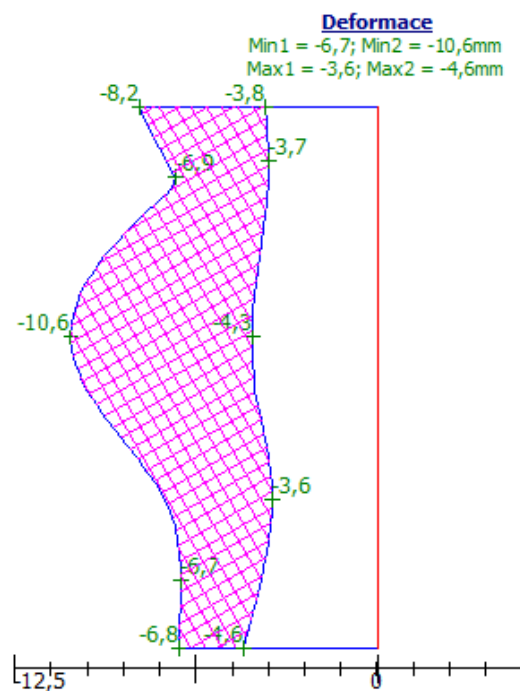
4.3.2 Mezní stav použitelnosti

Součástí statického posouzení konstrukce je ověření, že konstrukce bude schopná plnit svou předpokládanou funkci bez omezení způsobených jejím přetvořením. Je tedy nutné věnovat pozornost možnému vzniku deformací, které by neměly překročit stav označovaný dle teorie mezních stavů jako mezní stav použitelnosti.

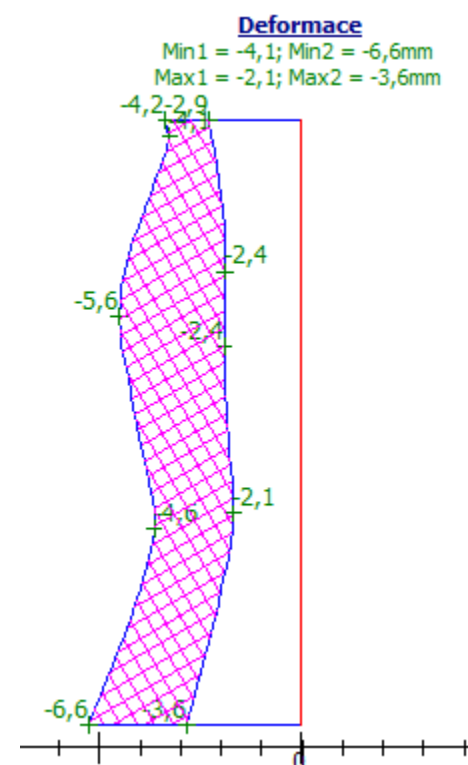
K posouzení mezního stavu použitelnosti je opět využitý program Geo 5 – Pažení posudek. EN 1997-1 doporučuje pro toto posouzení používat parciální součinitele rovny 1,0. Při řešení mezního stavu použitelnosti se tak pracuje s charakteristickými hodnotami, které vystihují reálné chování konstrukce. Za tímto účelem se program Pažení posudek nastaví na výpočet mezních tlaků s požadavkem „neredukovat“, ve kterém se zatížení ani parametry zemin neredukují žádnými výpočtovými koeficienty. [15] Je pak možné přímo hodnotit průběh deformací navrhované konstrukce – obálky deformací všech částí konstrukce jsou na obrázcích 32 - 37. Pro všechny pažené výšky je velikost deformací menší než 20 mm, což je z hlediska možného poklesu zeminy za konstrukcí plně vyhovující výsledek, který zároveň nepřekračuje mezi geotechniky zažitou a zkušenostmi podloženou hranici 30 mm.



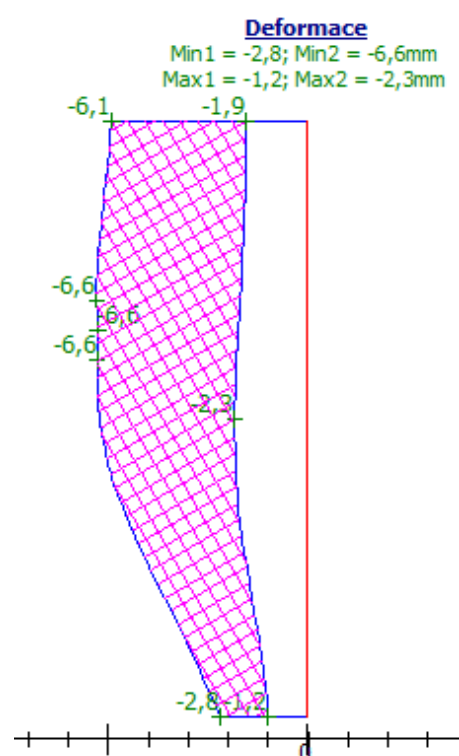
Obrázek 32: Deformace stěny 1



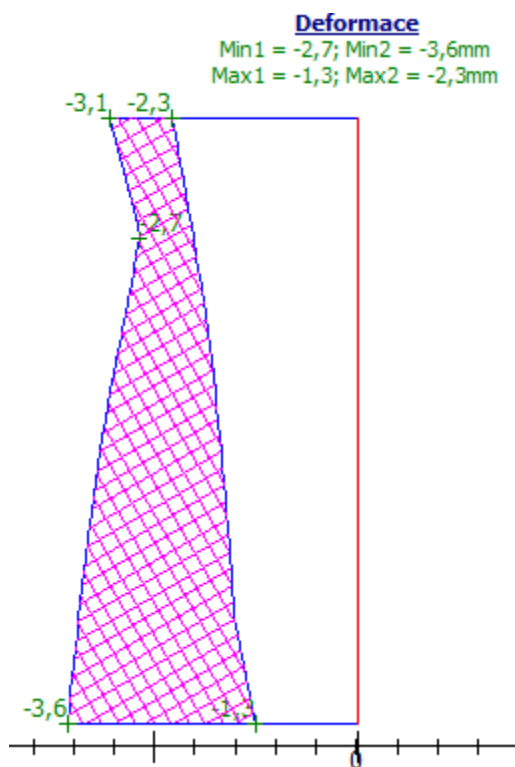
Obrázek 33: Deformace stěny 2



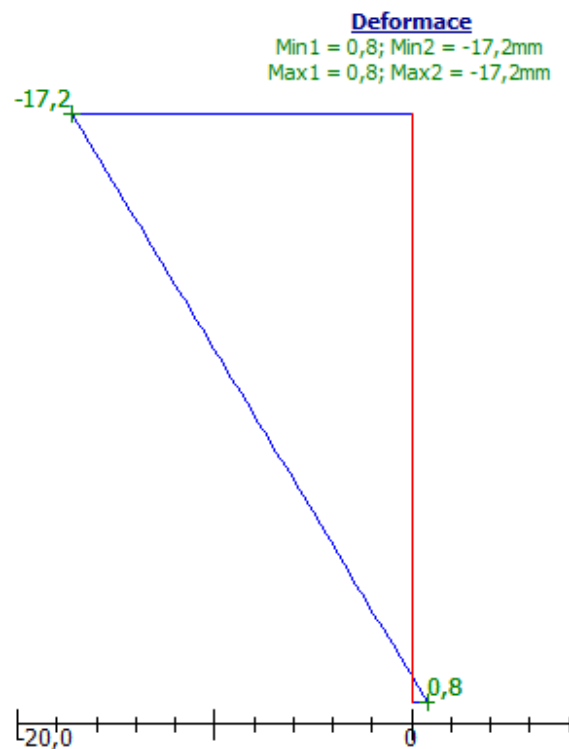
Obrázek 34: Deformace stěny 3



Obrázek 35: Deformace stěny 4



Obrázek 36: Deformace stěny 5



Obrázek 37: Deformace stěny 6

4.3.3 Posouzení celkové stability svahu

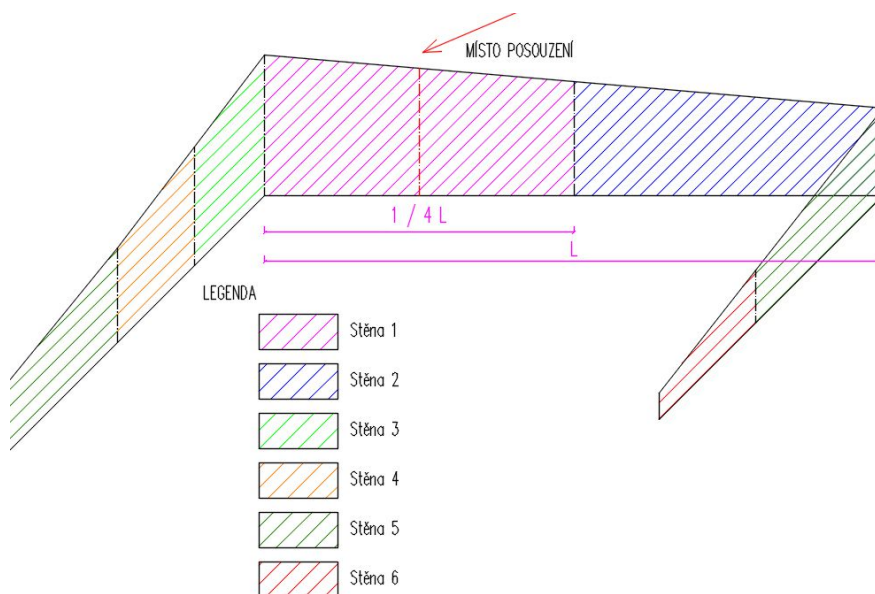
Vnější stabilita konstrukce byla posuzována v programu Geo 5 – Stabilita svahu s použitím návrhového přístupu 3- redukce zatížení GEO, STR a materiálu, použitá metodika je v souladu s EN 1997. GEO, popřípadě STR označují mezní stavy únosnosti dle EN 1997-1. V případě GEO se uvažuje stav porušení či nadměrné deformace horninového prostředí, kdy rozhodujícím faktorem odolnosti je pevnost zemin anebo skalních hornin. Stav STR uvažuje vnitřní porušení či nadměrnou deformaci konstrukce či jejích prvků se zahrnutím základových patek, pilot a podobně. Zde má rozhodující vliv na odolnost konstrukce pevnost konstrukčních materiálů. [23]

Materiály a normy		Stabilitní výpočty		
Výpočet zemětřesení :	Standard	Metody výpočtu pro polygonální smykovou plochu		
Metodika posouzení :	výpočet podle EN1997	Metody výpočtu pro kruhovou smykovou plochu		
Návrhový přístup :	3 - redukce zatížení GEO, STR a materiálu			
Trvalá návrhová situace Dočasná návrhová situace Mimořádná návrhová situace Seismická návrhová situace				
– Součinitele redukce zatížení (F)				
	Stav STR		Stav GEO	
	Nepříznivé	Příznivé	Nepříznivé	Příznivé
Stálé zatížení :	$\gamma_G = 1,00$ [-]	$1,00$ [-]	$1,00$ [-]	$1,00$ [-]
Proměnné zatížení :	$\gamma_Q = 1,50$ [-]	$0,00$ [-]	$1,30$ [-]	$0,00$ [-]
Zatížení vodou :	$\gamma_w =$		$1,00$ [-]	
– Součinitele redukce materiálu (M)				
Součinitel redukce úhlu vnitřního tření :	$\gamma_\phi = 1,25$ [-]			
Součinitel redukce efektivní soudržnosti :	$\gamma_c = 1,25$ [-]			
Součinitel redukce neodv. smykové pevnosti :	$\gamma_{cu} = 1,40$ [-]			

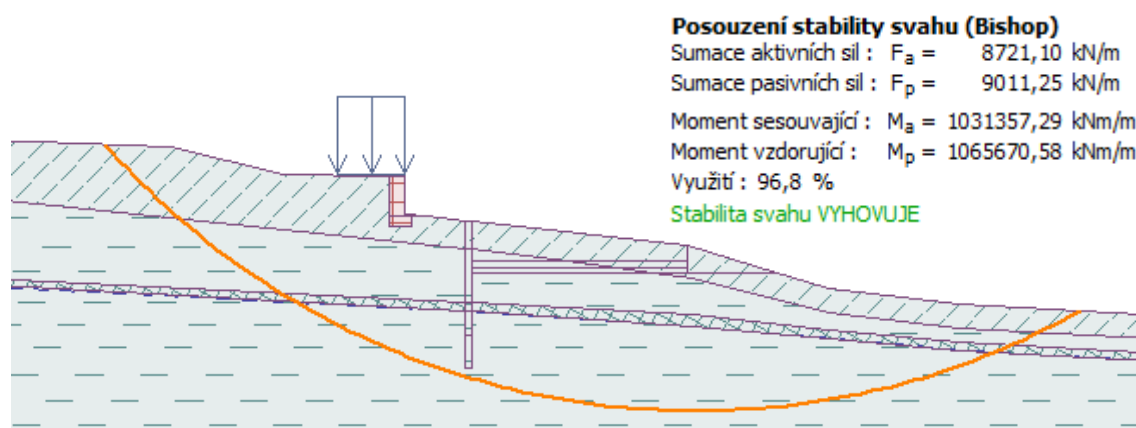
Obrázek 38: Nastavení výpočtu stability svahu dle teorie mezních stavů

Výpočet byl proveden s využitím Bishopovy metody. Ta pracuje s předpokladem válcové smykové plochy. V prostoru ohraničeném touto plochou se zemina rozdělí na pomyslné proužky. Tím se integrace sil působících po smykové ploše nahradí sumací přes tyto proužky, zanedbány jsou přitom smykové síly působící mezi jednotlivými proužky. Stabilita se pak stanoví z momentové podmínky a svislé silové podmínky všech sil působících ke středu otáčení. [15] S pomocí Bishopovy metody je tak určen stupeň stability svahu, jehož převrácená hodnota vyjadřuje míru využití celkové únosnosti.

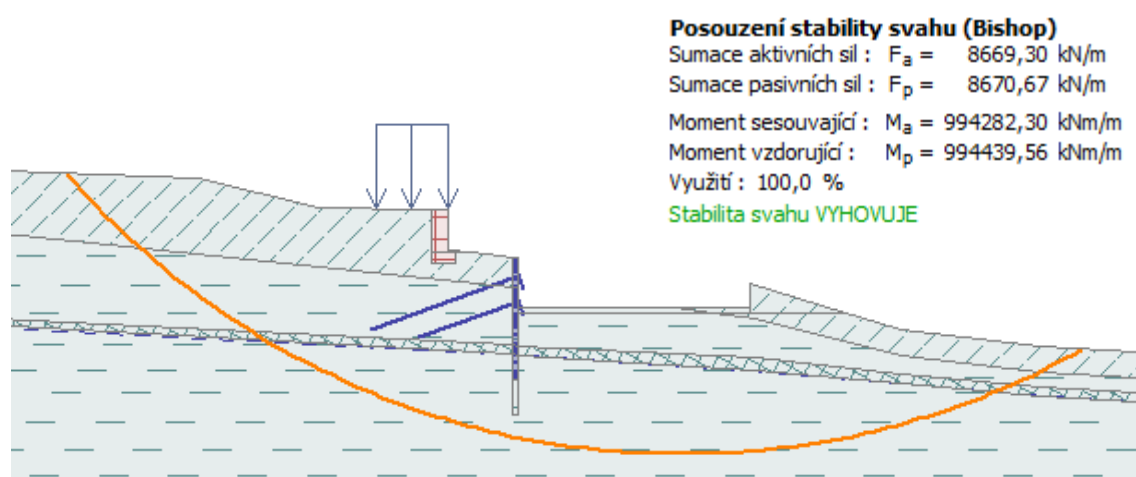
Posouzení bylo rozčleněno na fáze, zohledňující postup výstavby. Stabilita byla posuzována v řezu, který je z hlediska umístění a geometrie výkopu nejvíce namáhán (obrázek 39). Výsledky posudku dle teorie mezních stavů ukazují obrázky 40 - 42.



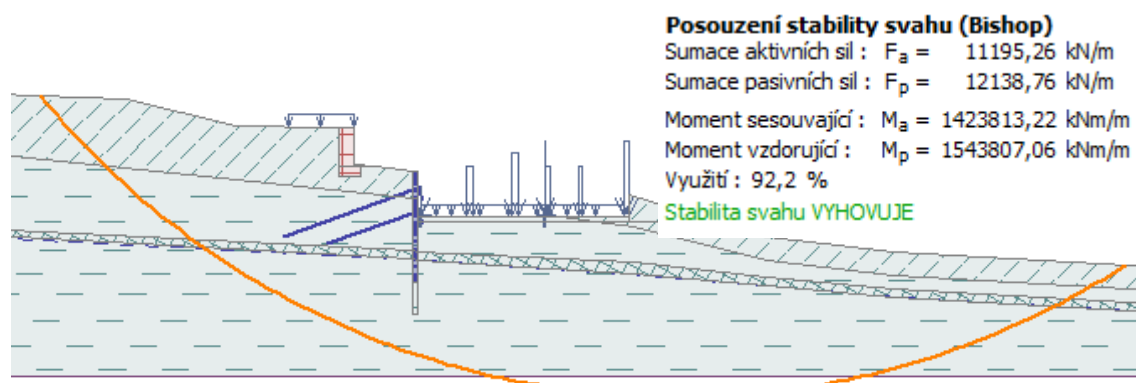
Obrázek 39: Vyznačení místa posudku stability



Obrázek 40: Fáze 1- Stabilita území před provedením výkopu.



Obrázek 41: Fáze 2 - Stabilita území po provedení výkopu



Obrázek 42: Fáze 3 - Stabilita území se zahrnutím přetížení konstrukcí

Z důvodů zmíněných v kapitole 4.2.2. byla stabilita posouzena také metodikou dle stupně bezpečnosti. Tento posudek vychází z ČSN 73 6133 [24] a zohledňuje ve srovnání s předchozím použití reziduálních parametrů, to znamená, že se pro jednotlivé vstupní parametry liší minimální požadovaný stupeň bezpečnosti (tabulka 9). Výsledky tohoto výpočtu ukazují obrázky 44 – 46.

Tabulka 9: Mezní stupně bezpečnosti dle ČSN 73 6133 [24]

Zářez		
Zemina	Smykové parametry (efektivní)	Stupeň bezpečnosti
Soudržná	Vrcholové	1.5
	Kritické	1.15
	reziduální	1.1

Úprava nastavení pro aktuální úlohu : Stabilita svahu

Materiály a normy Stabilitní výpočty

Výpočet zemětřesení : Standard

Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

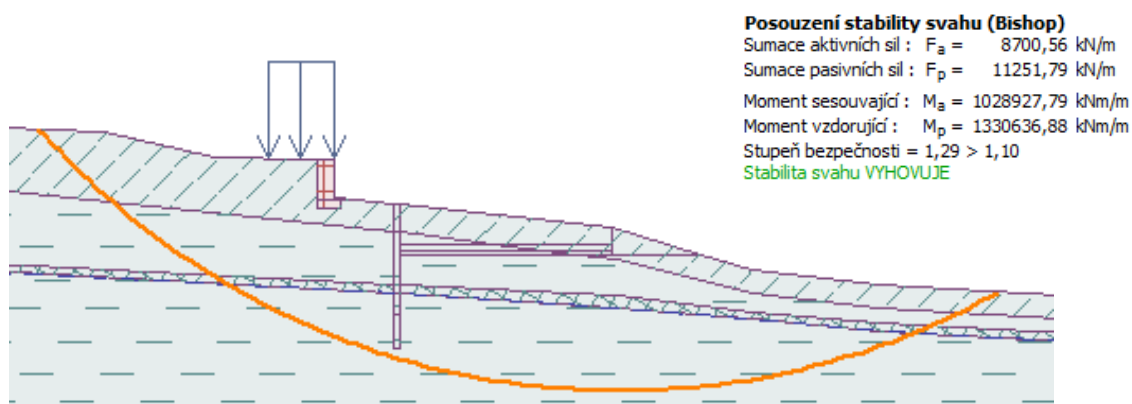
Metody výpočtu

Trvalá návrhová situace Dočasná návrhová situace Mimořádná návrhová situace Seismická návrhová situace

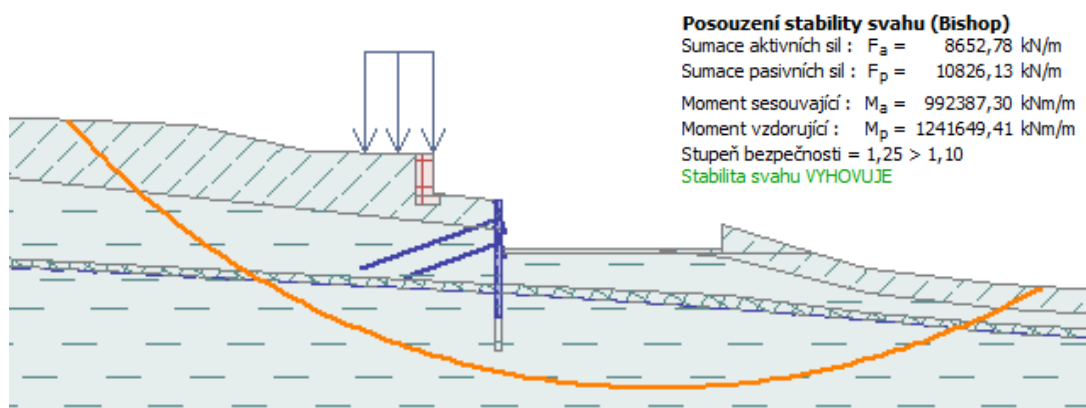
– Stupně bezpečnosti

Stupeň bezpečnosti : $SF_s = 1,10$ [-]

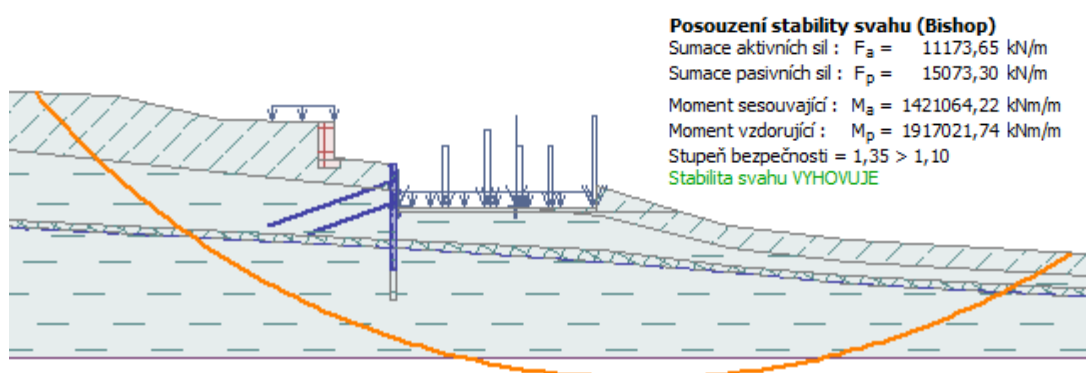
Obrázek 43: Nastavení výpočtu stability svahu dle stupně bezpečnosti



Obrázek 44: Fáze 1- Stabilita území před provedením výkopu



Obrázek 45: Fáze 2 - Stabilita území po provedení výkopu



Obrázek 46: Fáze 3 - Stabilita území se zahrnutím přitížení konstrukcí

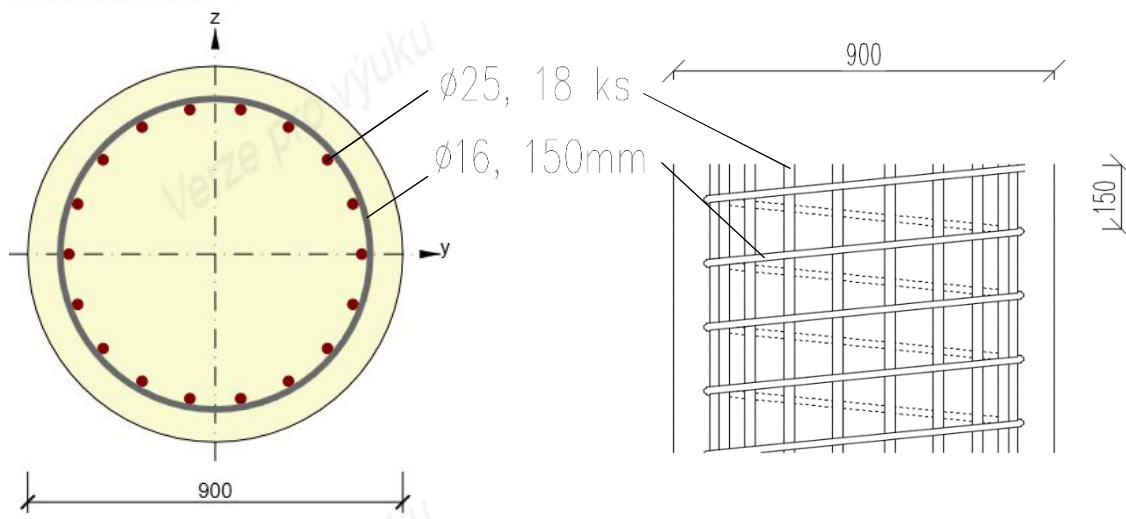
Z výstupů je zřejmé, že ačkoliv se ve výpočtu podle teorie mezních stavů pohybujeme na hranici únosnosti svahu, při výpočtu podle stupně bezpečnosti získáváme výrazně příznivější výsledky. Ze všech fází výstavby je nejméně příznivá fáze volného výkopu bez přitížení. Proto je na místě minimalizovat dobu, po kterou bude výkop ve stavu modelové fáze 2 a v co nejkratším horizontu začít s výstavbou objektu a využít tak stabilizačních účinků přitížení.

4.3.4 Posouzení ŽB pilot

Posouzení pilot bylo provedeno s využitím programu Idea Statica 7. Průběh vnitřních sil po výšce piloty byl za účelem tohoto posouzení převzat z programu Geo 5 –

Pažení posudek (nastavení pro první mezní stav). Piloty v jednotlivých částech výkopu byly pak posouzeny vždy ve dvou řezech – v místě maximálního ohybového momentu a v místě maximální posouvající síly. Protokol posouzení výztuže, vztahující se k pilotám ve stěně 1, je součástí přílohy B. Výkresy vyztužení všech pilot jsou rovněž součástí příloh.

Vyztužený průřez: R 1



Obrázek 47: Schéma vyztužení piloty ve stěně 1

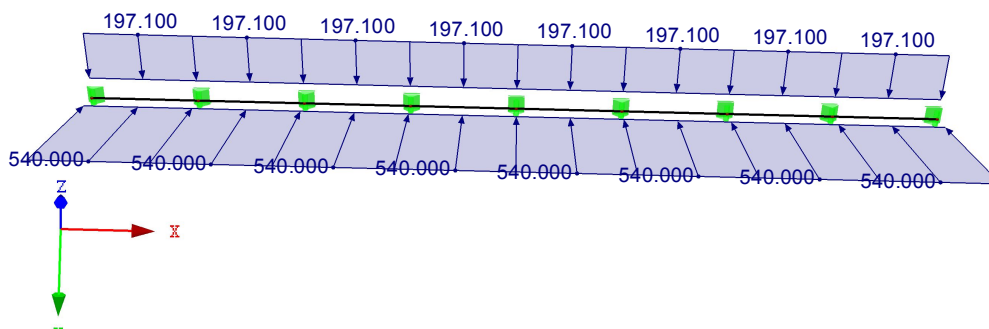
Tabulka 10: Vyztužení pilot jednotlivých částí pažení

	označení pilot	průměr pilot	hlavní výztuž	počet prutů	smyková výztuž	vzdál.	krytí výztuže
stěna 1	1-11	900 mm	R 25	18	R 16	150 mm	70 mm
stěna 2	12-23	900 mm	R 25	18	R 16	150 mm	70 mm
stěna 3	36-39	900 mm	R 25	8	R 16	200 mm	70 mm
stěna 4	40-43	900 mm	R 25	6	R 16	200 mm	70 mm
stěna 5	24-30;44-52	900 mm	R 14	12	R 8	200 mm	70 mm
stěna 6	31-35;53-55	900 mm	R 14	12	R 8	200 mm	70 mm

4.3.5 Posouzení převázky

Pro zajištění přenosu kotevní síly do ŽB pilířů byly navrženy ŽB převázky. Vnitřní síly v těchto převázkách byly získány s využitím programu RFEM, kde byl pro jednotlivé části pažení namodelován spojitý nosník odpovídajících rozměrů a podepření, zatížen příslušnou kotevní silou, kdy bodové zatížení kotvou nahrazujeme ekvivalentním

zatížením spojitým. Vstupní parametry modelu pro stěnu 1 jsou spolu s výslednými vnitřními silami součástí protokolů uvedených v příloze B.



Obrázek 48: Schéma zatížení převázky kotevní silou

Vlastní posouzení bylo provedeno s využitím programu Microsoft Excel. V souladu s normou ČSN EN 1992-1-1 [25] byl proveden návrh a posouzení rozměrů převázky a betonářské výztuže na zatížení ohybovým momentem a na zatížení smykem. Pro stěny 1 - 4 byla navržena převázka o rozměrech 500x500 mm. V části stěny 5 byla navržena převázka o rozměrech 300x300 mm. Vzorový posudek pro stěnu 1 je součástí přílohy B. Výkresy vyztužení jsou součástí přílohy C.

Tabulka 11: Rozměry a vyztužení převázek

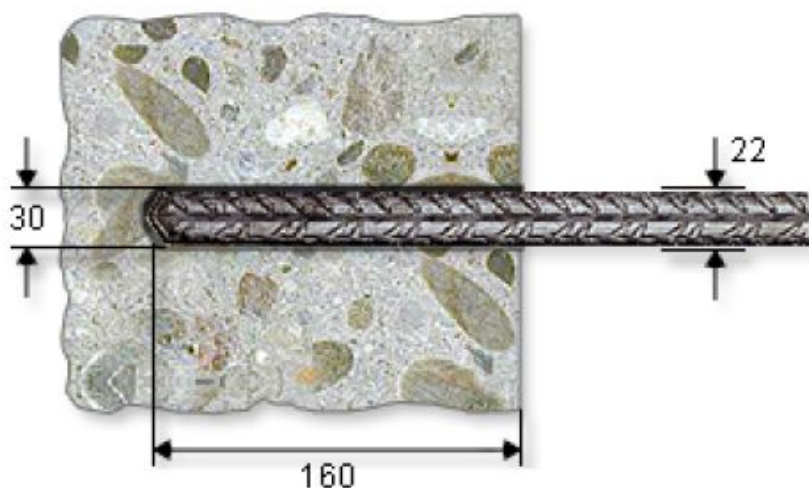
	rozměr mm	délka m	hlavní výztuž	počet prutů	smyková výztuž	vzdál.	krytí výztuže
převázka 1-1	500x500	17,4	R 12	28	R 8	150 mm	43 mm
převázka 1-2	500x500	17,4	R 20	16	R 8	150 mm	43 mm
převázka 2-1	500x500	17,4	R 12	28	R 8	150 mm	43 mm
převázka 2-2	500x500	17,4	R 20	24	R 8	125 mm	43 mm
převázka 3-1	500x500	5,4	R 12	16	R 8	150 mm	43 mm
převázka 3-2	500x500	5,4	R 20	8	R 8	200 mm	43 mm
převázka 4-1	500x500	8,4	R 12	14	R 8	300 mm	43 mm
převázka 4-2	500x500	8,4	R 20	8	R 8	200 mm	43 mm
převázka 5	300x300	12,9;9,9	R 12	12	R 8	150 mm	43 mm

4.3.6 Smykové kotvy

Pro zachycení smykové síly, působící na styku převázka - pilota, byly navrženy chemické kotvy Fischer. K posouzení těchto kotev byl využit volně dostupný software

firmy Fischer – fischer COMPUFIX. Kotvy byly navrženy na dva případy. Jeden pro převážku rozměrů 500x500 mm, druhý případ pro převážku 300x300 mm. Kotvy byly navrženy na plnou smykovou sílu – bez uvažování smykového tření na styku ploch převážky a piloty, která smykovou sílu ve skutečnosti snižuje. Navržení trnů na plnou sílu eliminuje potřebu určení velikosti třecí plochy a zanedbání tření je přitom předpokladem, který je na straně bezpečnosti výpočtu.

Ze všech smykových sil v převážkách 500x500 mm dosahuje maxima převážka 2 ve stěně 2 a to 135 kN. Pro tento případ byly navrženy 2 smykové trny průměru 22 mm z betonářské výztuže B500. V případě převážky 300x300 mm byla smyková síla mezi převážkou a pilotou 29 kN. Na přenesení této síly byl navržen 1 trn průměru 16 mm z betonářské výztuže B500. Detaily montáže jsou součástí výstupních protokolů. Protokol vztahující se k převážkám ve stěně 1 je součástí přílohy B.



Obrázek 49: Schéma uložení smykové kotvy

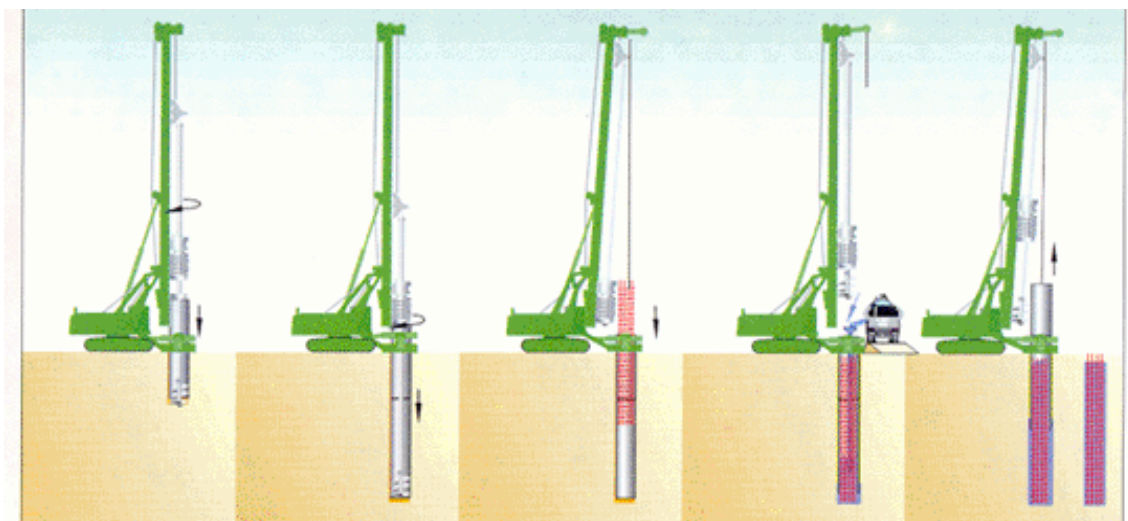
5. Technologický postup výstavby

Vyvrátání a vyhloubení vrtu pro pilotu

- Vrt se provede rotačním šnekovým přístrojem, hloubka vrtů, respektive délka jednotlivých pilot je detailně zaznačena ve výkresové dokumentaci v příloze C.
- Vrt se zajistí ocelovou výpažnicí.
- Je-li to potřeba, dno vrtu se vyčistí.

Armování a betonáž

- Do vyhloubeného vrtu bude vložen armokoš, vyztužení jednotlivých pilot je detailně popsáno ve výkresech, které jsou součástí přílohy C.
- Po usazení armkoše proběhne betonáž pomocí krátké usměrňovací roury s násypkou, beton kvality C20/25.
- V průběhu betonáže bude oddělávána výpažnice, tak aby nedošlo k vylití betonu do nezapaženého vrtu.
- Hlava piloty bude přebetonována a po odstranění výpažnice upravena.



Obrázek 50: Schéma výroby piloty pažené ocelovými pažnicemi [26]

- 1 - vrtání, 2 - pažení ocelovou výpažnicí, 3 - instalace armokoše, 4 - betonáž,
5 - odstranění výpažnice



Obrázek 51: Betonáž velko-průměrové piloty [27]

Hloubení jámy

- Po vytuhnutí pilot se vyhloubí jáma na první pracovní úroveň, ta se pro jednotlivé části pažení liší – detailně jsou jednotlivé hloubky uvedeny v tabulce 8 předchozího textu.
- Do prostoru mezi pilotami se umístí vertikální drenážní systém, dále se do tohoto prostoru umístí geotextilie.
- Do pilot se navrtají otvory pro osazení ocelových trnů, které se ukotví cementovou zálivkou.
- Na trny se přichytí kari síť a aplikuje se stříkaný beton.

Realizace převázky a umístění první řady kotev

- Do pilot se vyvrtají otvory pro umístění smykových kotev.
- Otvory pro smykové kotvy se vyplní navrženou injektážní směsí a usadí se kotvy, postup dle protokolu uvedeného v příloze B.
- V požadované výšce se zkonstruuje bednění pro uložení výztuže převázky, pro stěny kotvené ve dvou úrovních v rozměru 500x500mm, pro jednoúrovňově kotvené 300x300 mm.
- Realizuje se vyztužení převázky dle výkresů uvedených v příloze C.
- V místech plánovaného průchodu kotev převázkou se umístí průchodky.
- Vybetonuje se převázka, beton kvality C20/25.
- Po vytvrdnutí převázky se skrze průchodky vytvoří vrtý pro kotvy, detailní informace o umístění jednotlivých vrtů, jejich sklonu a hloubce jsou zaznačeny ve výkresové dokumentaci v příloze C, průměr jednotlivých vrtů je součástí tabulky 12, označení kotev v tabulce je shodné s označením jednotlivých kotev ve výkresech.

Tabulka 12: Údaje pro realizaci kotev

	pramenců ks	délka m	předpětí kN	průměr vrtu mm
K1	8	22	400	194
K2	8	21	400	194
K3	4	15	300	175
K4	4	15	200	175
K5	4	6,5	150	175
K6	4	15	400	175
K7	8	16	400	194
K8	4	9,5	400	175
K9	4	10	400	175

- Po vyčištění vrtů se vloží táhlo, jehož kořenová část se zainjektuje cementovou suspenzí c : v = 2,2-2,3 : 1. [20]
- Volné délce táhla je nutné zajistit protikorozi ochranu.
- Po uzrání injektážní suspenze v kořenové části kotvy se zkouší kvalita ukotvení.
- Následně se kotva napne na požadovanou předpínací sílu.

Hloubení na další úrovně

- Hloubení na další úrovně probíhá analogicky s předchozím postupem a v souladu s výkresovou dokumentací.

Drenážní systém

- Na dně výkopu podél pilotové stěny se vybuduje štěrkový pás, kam bude ústít svislá drenáž z rubové strany pilotové stěny.
- Na dno tohoto pásu bude umístěn odvodný kanálek pro odvedení vody ze stavební jámy.

6. Závěr

Předmětem diplomové práce bylo navrhnout vhodnou pažící konstrukci, která spolehlivě zajistí stavební jámu a umožní tak bezpečnou realizaci objektu polyfunkčního domu Provazníková. První fází tohoto návrhu bylo důkladné nastudování zprávy z inženýrsko-geologického průzkumu a projektové dokumentace ke zmiňovanému objektu, aby mohlo být navrženo vhodné situování pažící konstrukce do zájmové lokality. Na základě takto získané geometrie pažení a dalších vstupních parametrů pak byl vybrán způsob, jakým bude jáma zajištěna – kotvená pilotová stěna. Tato stěna byla v kontextu se svažitostí terénu pro účely statického modelu rozdělena na několik částí a jednotlivé části a jejich komponenty byly s využitím softwarů pro statické modelování (RFEM, IDEA, GEO 5) namodelovány a dále pak opět za pomoci zmíněných programů či ručními výpočty posouzeny.

Zajištění stavební jámy bylo navrženo jako pilotová stěna s pracovním prostorem. Navržený průměr pilot činí 900 mm, osová vzdálenost 1,5 m. Tyto parametry se shodují u všech částí pažení. Pilotová stěna byla navržena převážně jako kotvená a to v jedné či dvou úrovních v závislosti na výšce výkopu, nejnižší z částí byla navržena volně stojící, bez kotvení. Kotvy byly navrženy jako čtyř nebo osmi pramencové se sklonem 20° v osově vzdálenosti 1,5 m nebo 3 m. Pro přenesení kotevní síly do pilotové stěny byla navržena železobetonová převázka rozměrů 500x500 mm, respektive 300x300 mm. Dále bylo navrženo odpovídající vyztužení pilot pro přenos ohybového a smykového namáhání. Pro přenos smykové síly na styku piloty a převázky byly navrženy smykové kotvy profilu 22 mm ve dvou kusech, respektive 16 mm jeden kus.

Bibliografie

- [1] Státní správa zeměměřictví a katastru: Nahlížení do katastru nemovitostí. *Státní správa zeměměřictví a katastru* [online]. b.r. [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: <http://nahlizidenidokn.cuzk.cz/>
- [2] TÜRKOVA, Hana. *Zpráva z inženýrsko-geologického průzkumu*. Brno, 2014.
- [3] KOŘÍNEK, Robert. *Mechanika hornin a zemin: Podklady k přednáškám* [online]. Brno, 2012 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: <http://www.geotechnici.cz/wp-content/uploads/2012/08/MHZ-03.pdf>
- [4] HERLE, Vítězslav. *Geotechnika: Zemní práce, klasifikace, úpravy zemin, zářezy, násypy, speciální zakládání* [online]. 2012 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: http://www.pjpk.cz/P_4.pdf
- [5] Česká geologická služba: *Mapy on-line* [online]. Praha, 2016 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/>
- [6] Česká geologická služba: Registr svahových nestabilit. *Česká geologická služba* [online]. Praha, 2016 [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: http://mapy.geology.cz/sesuvy_cgs/
- [7] Seznam.cz, a.s.: *Mapy.cz* [online]. Praha, 2016 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: <https://mapy.cz>
- [8] FENCL, Michal. *Pevnost brněnského téglu v kritickém stavu*. Praha, 2012. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze. Vedoucí práce Ing. Jan Boháč CSc.
- [9] Polní zkoušky a měření mechaniky hornin: Stanovení in situ. *Ústav geotechniky VUT Brno* [online]. Brno, b.r. [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: http://geotech.fce.vutbr.cz/studium/mech_hornin/mhig_11.pdf
- [10] MASOPUST, Jan. *Rizika prací speciálního zakládání staveb*. 1. vyd. Praha: Pro Asociaci dodavatelů speciálního zakládání staveb a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2011. Technická knižnice (ČKAIT). ISBN 978-80-87438-10-7.

- [11] *KELLER - speciální zakládání, spol. s.r.o.: Pažicí stěny* [online]. b.r. [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: <https://www.kellergrundbau.cz/technologicka-rodina/pazici-steny/>
- [12] *Zakládání staveb, a.s.* [online]. Praha, b.r. [cit. 2016-12-30].
- [13] TURČEK, Peter. *Zakládání staveb*. 1. Bratislava: Jaga, 2005. Architektura, stavebnictví, bydlení. ISBN 80-807-6023-3.
- [14] Brno, Hybešova: obchodní dům. *Fundos, spol. s.r.o.* [online]. Brno, 2009 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: <http://www.fundos.cz/referencni-akce/brno-hybesova-obchodni-dum-2009.html>
- [15] *Geo 5: Uživatelská příručka* [online]. 1. Praha: Fine spol. s.r.o., 2016 [cit. 2017-01-08]. Dostupné z: <http://www.fine.cz/ke-stazeni/manualy/99/cs/geo5-ug-01-uzivatelska-prirucka/>
- [16] *Program RFEM 5: Prostorové konstrukce metodou konečných prvků* [online]. Praha: Dlubal software s.r.o., 2012 [cit. 2017-01-13]. Dostupné z: <https://www.dlubal.com/cs/stahovani-a-informace/dokumenty/manualy?category=rfem>
- [17] *IDEA RCS - Reinforced Concrete Section: Uživatelská příručka* [online]. 1. Brno: IDEA RE s.r.o., 2016 [cit. 2017-01-13]. Dostupné z: <http://www.idea-rs.com/wp-content/uploads/release7/docs/RCS.pdf>
- [18] Fischer: Inovative solutions. *Fischer: Inovative solutions* [online]. Brandýs nad labem, b.r. [cit. 2017-01-13]. Dostupné z: <http://www.fischer-cz.cz/Domovska-stranka/Nabizime-vice-nez-sluzby/FIXPERIENCE-Software/V%C3%BDhody-programu-FIXPERIENCE-na-prvn%C3%AD-pohled.aspx/usetemplate-detailprint/>
- [19] Napjatostně-deformační analýza pažicích konstrukcí. *Vybrané statě z geomechaniky* [online]. Brno, 2016 [cit. 2017-01-08]. Dostupné z: http://projekty.fce.vutbr.cz/file.php/4/predmety/CF55_pr05.pdf
- [20] MASOPUST, Jan. *Navrhování základových a pažicích konstrukcí: příručka k ČSN EN 1997*. 1. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2012. ISBN 978-80-87438-31-2.

- [21] Horninové kotvy pramencové. *Freyssinet: Sustainable technology* [online]. Zápy, 2016 [cit. 2017-01-08]. Dostupné z: http://www.freyssinet.cz/211-horninove_kotvy_pramencove
- [22] ČSN EN 1997-1. *Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí.: Část 1, Obecná pravidla*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [23] ZAVORAL, Jakub. *Zakládání staveb: Výpočty*. Ústí nad Labem, 2014. Dostupné také z: http://envimod.fzp.ujep.cz/sites/default/files/skripta/36e_final_tisk.pdf. Projekt OPVK - Modernizace výuky. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně.
- [24] ČSN 73 6133: *Navrhování a provádění zemního tělesa pozemních komunikací*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [25] ČSN EN 1992-1-1: *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [26] Pažení propustná: Pilotové pažící stěny. *Katedra technologie staveb: ČVUT* [online]. Praha, b.r. [cit. 2017-01-09]. Dostupné z: <http://technologie.fsv.cvut.cz/aitom/podklady/online-zakladani/obrjama332.html#obr332b>
- [27] Zakládání staveb: Velkopřůměrové piloty. *GEO-ING spol s.r.o.: Speciální stavební práce* [online]. Jihlava, b.r. [cit. 2017-01-09]. Dostupné z: <http://www.geo-ing.cz/vyrobní-program/>

Použité zkratky a symboly

k.ú.	katastrální území
USCS	klasifikační systém zemin Unified soil classification system
ČSN	Česká technická norma
ČSN EN	Česká technická norma, která zavádí do soustavy českých norem evropskou normu
ČSN EN ISO	Česká technická norma, která zavádí do soustavy českých norem mezinárodní normu ISO
IG	inženýrsko-geologický
V1	označení vrtů v rámci IG průzkumu
E_{oed}	edometrický modul přetvámosti
γ	objemová tíha
φ	úhel vnitřního tření zeminy
c	koheze
ŽB	železo-betonový
HPV	hladina podzemní vody
ν	Poissonův součinitel
d	průměr vrtu
L_k	délka kořene horninové kotvy
τ	plášťové tření
A_t	plocha táhla horninové kotvy
F_t	charakteristická pevnost kotevního táhla v tahu
R	průměr betonářské výztuže

Seznam příloh

Příloha A Inženýrsko- geologické profily

Příloha B Statické výpočty

Příloha C Výkresová dokumentace